

D 2014



Estudo Laboratorial De Molas Ortodônticas – Mecânica e Corrosão

Saúl Matos de Castro

TESE DE DOUTORAMENTO APRESENTADA

À FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
MEDICINA DENTÁRIA

Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Estudo Laboratorial De Molas Ortodônticas – Mecânica e Corrosão

Saúl Matos de Castro

Licenciado em Medicina Dentária pela Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto
Pós-Graduado em Ortodontia pela Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto
Mestre em Ortodontia pela Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Dissertação de candidatura ao grau de Doutor em Medicina Dentária
Apresentada à Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Orientador:

Professora Doutora Maria Cristina P.C.M. Figueiredo Pollmann

Co-Orientador:

Professor Doutor Mário Ramalho Vasconcelos
Professor Doutor Ramiro Carneiro Martins

Porto, 2014

Membros do Conselho Científico da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Prof. Doutor Afonso Manuel Pinhão Ferreira (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor António Cabral Campos Felino (Prof. Catedrático) – Vice-Presidente

Prof. Doutor César Fernando Coelho Leal Silva (Prof. Associado c/agregação)

Prof. Doutor Germano Neves Pinto Rocha (Prof. Associado)

Prof. Doutora Irene Graça Azevedo Pina Vaz (Prof. Associada)

Prof. Doutora Inês Alexandra Costa Moraes Caldas (Prof. Auxiliar c/ agregação)

Prof. Doutor João Carlos Antunes Sampaio Fernandes (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Ferreira de Pinho (Prof. Associado c/agregação)

Prof. Doutor João Fernando Costa Carvalho (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor Jorge Manuel Carvalho Dias Lopes (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor José António Macedo Carvalho Capelas (Prof. Associado c/agregação)

Prof. Doutor José Carlos Reis Campos (Prof. Associado c/ agregação)

Prof. Doutor José Mário Castro Rocha (Prof. Auxiliar)

Prof. Douto Manuel José Fontes de Carvalho (Prof. Associado)

Prof. Doutora Maria Benedita Almeida Garrett Sampaio Maia Marques (Prof. Auxiliar)

Prof. Doutora Maria Cristina P. C. M. Figueiredo Pollmann (Prof. Associada)

Prof. Doutora Maria Helena Guimarães Figueiral da Silva (Prof. Catedrática)

Prof. Doutora Maria Helena Raposo Fernandes (Prof. Catedrática)

Prof. Doutora Maria Lurdes Ferreira Lobo Pereira (Prof. Auxiliar)

Prof. Doutor Mário Augusto Pires Vaz (Prof. Associado c/ agregação - personalidade convidada)

Prof. Doutor Mário Jorge Rebolho Fernandes Silva (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor Mário Ramalho Vasconcelos (Prof. Associado c/agregação)

Prof. Doutor Miguel Fernando Silva Gonçalves Pinto (Prof. Catedrático)

Prof. Doutor Paulo Rui Galvão Ribeiro Melo (Prof. Associado c/ agregação)

Prof. Doutor Ricardo Manuel Lobo Faria Almeida (Professor Associado c/ agregação)

Às Mulheres da minha vida
Sofia e Beatriz

Aos Meus Pais e Irmãos

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará numa máquina, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correcto.”

Albert Einsten

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação, embora de feição individual, constitui o resultado da colaboração de um conjunto de pessoas que direta ou indiretamente contribuem para a sua concretização.

Desta preciosa colaboração há pessoas que não me dispenso de referir:

A Professora Doutora Maria Cristina P.C.M. Figueiredo Pollmann, minha Orientadora Científica, a quem manifesto a minha gratidão pela total disponibilidade e profundo empenho com que acompanhou o trabalho. Os seus inteligentes conselhos, orientações e críticas na revisão desta dissertação, foram contributos essenciais para a sua efectivação

O Professor Doutor Mário Ramalho Vasconcelos, meu Co-Orientador Científico, a quem manifesto a minha gratidão pela confiança em mim depositada, disponibilidade e exemplo de competência na investigação.

O Professor Doutor Ramiro Carneiro Martins, meu Co-Orientador, a quem agradeço toda a disponibilidade, apoio e conhecimento técnico na realização deste trabalho.

O Professor Doutor Paulo Teles, Professor Auxiliar da FEP, a quem agradeço pela orientação estatística do trabalho, disponibilidade, empenho e atitude incentivadora perante as questões.

A todo o Serviço de Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP, na pessoa da Professora Doutora Maria Helena Raposo Fernandes, a quem agradeço toda a disponibilidade pessoal e logística, essencial na execução laboratorial do trabalho.

A Mestre Mónica Pereira Garcia, a quem manifesto a minha gratidão por todo o empenho, disponibilidade e profissionalismo nas horas dispensadas semanalmente em grande parte do trabalho laboratorial, que todo este projeto requereu.

O Professor Doutor Rui António da Silva Moreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, pelo engenho na idealização da mesa de testes.

A Doutora Daniela Silva do Centro de Materiais da Universidade do Porto, a quem agradeço a colaboração.

A Professora Doutora Cidália Maria de Sousa Botelho, Professora Auxiliar do Departamento de Química da FEUP, a quem agradeço a orientação técnica e científica na realização da espectrofotometria de absorção atómica.

O Professor Doutor José Carlos Magalhães Duque da Fonseca, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da FEUP, a quem agradeço a disponibilidade e orientação.

O Professor Doutor José Carlos Reis Campos, a quem agradeço todo o apoio concedido na criação de condições para a realização deste trabalho.

A Professora Ana Isabel Pereira Portela, a quem agradeço a disponibilidade e o apoio em questões laboratoriais.

O Professor Doutor Jorge Dias Lopes, a quem agradeço todo o apoio, empenho e incentivo concedido na criação das condições para a realização deste trabalho.

O Professor Doutor Afonso Pinhão Ferreira, a quem desejo demonstrar o meu reconhecimento pela dedicação ao Serviço da Ortodontia, e espírito motivador.

A Professora Maria João Ponces, a quem agradeço todo o apoio e incentivo.

A todo o Serviço de Ortodontia da FMDUP, pela sua contribuição no meu saber Ortodôntico.

O Eugénio pela amizade e apoio nesta longa caminhada partilhada.

O Joca, a Helena, a Mariana, a Paula e a Ana Margarida a quem agradeço a ajuda e disponibilidade.

A todos aqueles que, de algum modo, deram a sua contribuição para a realização deste projeto.

“Para crescer como pessoa é preciso cercar-me de gente mais inteligente do que eu.”

William Shakespeare

Resumo

Introdução:

O tipo de movimento dentário ortodôntico é determinado pela razão entre o momento e a força, isto é, pela localização do centro de rotação. A resposta clínica quantitativa é modelada pelos outros dois factores do sistema de forças: a magnitude e a constância das forças.

Nos atuais conceitos com uma resposta biológica óptima considera-se mola ideal será aquela que induz um determinado movimento dentário (proporção M/F), num intervalo de magnitude de força relativamente constante. A possibilidade de quantificar e controlar a proporção M/F no *bracket* é parte fundamental para um movimento dentário previsível e controlado.

A corrosão dos arames ortodônticos é um problema que há muito preocupa os ortodontistas. Os produtos da sua corrosão em meio oral podem ser absorvidos pelo organismo, causando efeitos locais ou sistémicos, em pacientes suscetíveis. Por outro lado, a corrosão dos arames ortodônticos influencia as suas propriedades físicas e, potencialmente, o seu desempenho clínico.

Objectivos:

1 - Determinar o sistema de forças em α (força horizontal, proporção M/F) de uma mola em T com 7 mm de dimensão vertical e 13 mm, distância inter-*bracket*, em duas ligas metálicas (aço inoxidável e TMA) de secção 0.017" x 0.025", para cinco dobras de pré-activação.

2 - Avaliar o efeito da saliva, do pH e do flúor no sistema de forças desenvolvido na activação da mola e analisar *in vitro*, o efeito corrosivo das variáveis em estudo através da observação em microscopia electrónica (MEV), espectrometria de energia dispersiva (EDS), perfilometria e libertação iónica.

Material e método:

A - Estudo mecânico

Fase 1 - Ensaio mecânico preliminar de molas em T de arame de secção 0.017" x 0.025, de aço inoxidável (n=50) e TMA(n=50), divididas em cinco grupos de pré-activação (n=10). Os ensaios foram realizados numa mesa de testes, a intensidade da força horizontal e do momento foram quantificadas. Após uma activação inicial de 1 mm foram registados os valores para cada 0,5 mm de incremento de activação, até ao limite de 6 mm. O equipamento utilizado foi um aparelho OrthoMeasure Moment/force, e um calibrador digital. Os dados foram analisados utilizando a metodologia ANOVA, para um nível de significância de 5%.

Fase 2 - Ensaio mecânico de molas em T de arame de secção 0.017" x 0.025, de aço inoxidável (n=180) e TMA(n=180) após as seguintes condições: imersão em saliva artificial a 37 °C, para dois valores de pH (pH 4 e pH 6), durante um 1 mês (n=20), 3 meses (n=20,) e 5 meses (n=20). Após cada tempo de imersão, foram retiradas aleatoriamente 10 molas de cada grupo (liga/pH/tempo). Para cada mola devidamente identificada foi repetido o ensaio mecânico

Analisaram-se as diferenças entre os valores encontrados e os do ensaio preliminar. Recorrendo ao teste de Shapiro-Wilk da normalidade das diferenças (para a força e para o momento). Em função dos resultado, testou-se a significância das diferenças teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon.

Fase 3- Cada grupo da amostra saliva foi dividido em dois subgrupos (n=5) e imersa numa das seguintes condições de saliva fluoretada - 1500 e 22600 ppm. Após os tempo imersão 1 mês(t1) , 3

meses (t2) e 5 meses(t3) foi repetido o ensaio mecânico. Analisaram-se as diferenças entre os dois momentos de medição recorrendo-se à metodologia estatística referida na fase 2.

B -Estudo de corrosão

Efetuada nos mesmos tempos e condições das Fases 2 e 3 do estudo mecânico

Quantificou-se a rugosidade de superfície medida num rugosímetro (Hommelwerke, modeloT8000, Ra), e por observação por MEV (JEOLJSM6301F).

Avaliou-se a presença dos iões Ni e Mo no meio de imersão, por espectrofotometria de absorção atómica com chama, (espectrofotómetros GBC 932 Scientific Equipment PTY, modelo 932).

Resultados e Conclusões:

Tanto para o aço inoxidável como para o TMA encontraram-se diferenças de médias, estatisticamente significativas, ao nível da força e da proporção M/F, em função da pré-activação. Confirmou-se a influência sobre a força , da localização da pré-activação. Na ausência de pré-activação, relativamente à proporção M/F, as molas em TMA, registaram valores superiores às molas em aço inoxidável. Ainda nas molas sem pré-activação verificou-se um aumento da proporção M/F com o aumento da activação. Nas molas com pré-activação foi aferido um efeito contrário. Na maioria das activações com molas pré-activadas, as de aço inoxidável apresentaram valores de proporção M/F superiores às de TMA. A inserção de dobras de pré-activação provoca aumento da proporção M/F. O valor desse aumento é maior quando a pré-ativação é feita nas dobras da região gengival da mola

O efeito da variação do pH na imersão em saliva, permitiu concluir que: 1) A diferença da força das molas sujeitas a pH6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH4. e esta diferença aumenta com o aumento da variável tempo. 2)A diferença do momento das molas sujeitas a pH6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH4 e esta diferença aumenta com o aumento da variável tempo. 3) A razão momento/força , nas molas sujeitas a pH6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH4. A diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de t3 é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de t5 e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de t1, cuja diferença é a mais fraca.

Relativamente à concentração do flúor, concluiu-se que as diferenças do momento e da razão M/F nas molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Relativamente ao tempo concluiu-se que a diferença do momento e M/F das molas sujeitas a uma duração de t3 foi a mais forte, seguindo-se nas molas sujeitas a t5 e, por fim, a uma duração de t1.

A imersão em saliva resultou numa diminuição da rugosidade. Tanto para o aço inoxidável como o TMA a diferença da rugosidade para a duração de t5 foi superior à diferença das molas sujeitas a um tempo de t3 e t1. Para o TMA, relativamente ao pH, a diferença das molas sujeitas a pH 6,75 foi inferior à diferença verificada a pH 4.

O efeito da imersão em saliva com flúor na rugosidade das molas, resultou num aumento da rugosidade na maioria das condições para ambas as ligas. Relativamente ao pH, para o aço inoxidável, a diferença da rugosidade a pH 6,75 foi superior à diferença das molas sujeitas a pH 4. Efeito oposto foi verificado para a liga TMA. Relativamente ao flúor, a diferença da rugosidade das molas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm, para ambas as ligas.

Os resultados obtidos no rugosímetro foram concordantes com as imagens obtidas na MEV.

A pesquisa do ião Ni, para o aço inoxidável, só foi positiva para a situação de pH4 na concentração de flúor 22600 ppm para t5. Para o TMA a pesquisa do ião Mo relativamente ao pH, o pH 6,75 foi quem registou os valores mais altos em todas as condições. Relativamente à variável tempo, o valor mais elevado verificou-se em t3, seguindo-se t1 e por último t5.

Abstract

Introduction:

The type of orthodontic tooth movement is determined by the ratio between the moment and the force, that is, the location of the center of rotation. Quantitative clinical response is determined by the other two factors of the system of forces: the magnitude and consistency of forces.

Current concepts in a biological response is considered optimal ideal spring will be one that induces a specific tooth movement (ratio M / F) in an interval of relatively constant magnitude force. The ability to quantify and control the ratio M / F in the bracket is essential for a predictable and controlled tooth movement part.

Corrosion of orthodontic wires is an issue that has long concerned orthodontists. The products of its corrosion in oral environment can be absorbed by the body, causing local or systemic effects in susceptible patients. Moreover, corrosion of orthodontic wires influences its physical properties and, potentially, their clinical performance.

Aim:

1 - To determine the system of forces in α (horizontal force, proportion M / F) on T spring, for the same vertical dimension (7 mm) and inter-bracket distance (13 mm) with five different folds pre-activation and two metal alloys (stainless steel and TMA) of section 0.017 "x 0.025".

2- Evaluate the effect of saliva, pH and fluoride on the activating force system developed in the spring and in vitro analysis, the corrosive effect of the study variables by observing electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), profilometry and ion release.

Material and Methods:

A - Mechanical Study

Phase 1 - Preliminary study of mechanical springs T-section wire 0.017 "x 0.025, stainless steel (n = 50) and TMA (n = 50) were divided into five groups of pre-activation (n = 10). Assays were performed in a test table, the intensity of the horizontal force and moment were quantified. After an initial activation values of 1 mm for each 0.5 mm increment of activation, up to 6 mm were recorded. The equipment used was a device OrthoMeasure Moment / force, and a digital caliper. Data were analyzed using the ANOVA method, to a level of significance of 5%.

Phase 2 - Test Mechanical springs in T-section wire 0.017 "x 0.025, stainless steel (n = 180) and TMA (n = 180) after the following conditions: immersion in artificial saliva at 37 ° C for two pH values (pH 4 and pH 6) over a 1-month (n = 20), 3 months (n = 20) and 5 months old (n = 20). After each immersion time, 10 springs were taken randomly from each group (on / pH / time). For each properly identified spring was repeated mechanical testing

Analyzed the differences between the values found and the preliminary test. Using the Shapiro-Wilk test for normality of the differences (for force and for the moment). Depending on the results, we tested the significance of differences Student t test or Wilcoxon test.

Phase 3 - Each group in the 3-phase saliva sample was divided into two subgroups (n = 5) and immersed in one of the following conditions fluoridated saliva - 1500 and 22600 ppm. After one month immersion time (t1), 3 months (t2) and 5 months old (t3) mechanical test was repeated.

Analyzed the differences between the two measurement occasions resorting to the statistical methodology referred to in Phase 2.

B -Study corrosion

Performed at the same times and conditions of Phases 2 and 3 of the mechanical study.

Quantification of the surface roughness measured on a profilometer (Hommelwerke, modelo T8000, R), and by observation by SEM (JEOLJSM6301F).

We evaluated the presence of Ni and Mo ions in the immersion medium, by atomic absorption spectrophotometry with flame (spectrophotometers GBC Scientific Equipment PTY 932, model 932).

Results and Conclusions:

Both the stainless steel as the TMA found to be differences in means was statistically significant at the level of strength and the ratio M / F on the basis of pre-activation. Confirmed the influence of the force, the location of pre-activation. In the absence of pre-activation, relatively to the ratio M / F , the springs TMA, showed superior to stainless steel springs values. Although the springs without preactivation there was an increase in the proportion M / F with increased activation. The springs with preactivation an opposite effect was measured. Most activations preactivated with springs, the stainless steel had ratio values M / F higher than TMA. The insertion of folds pre-activation causes increased ratio M / F . The value of this increase is greater when the pre-activation is done in the folds of the gingival area of the spring

The effect of pH variation on immersion in saliva, to conclude that: 1) the difference of the force of the springs is subject to pH6.75 greater than the difference of springs subject to pH4. and this difference increases with increasing time variable. 2) the difference of the moment of the springs is subject to pH6.75 greater than the difference of springs subject to pH4 and this difference increases with increasing time variable. 3) The right moment / force, subject to the springs pH6.75 is less than the difference of springs subject to pH4. The difference of moment / force of springs subject to a time t_3 is the strongest, followed by the springs subject to a time t_5 , and finally, the springs are subject to a duration of t_1 , and the difference is the weakest .

On the concentration of fluorine, it was concluded that the differences in the moment and the ratio M / F on the springs subject to 22600 ppm is less than the difference of the springs subjected to 1500 ppm. For the time it was found that the difference of the moment and M / F springs subject to a duration t_3 was the strongest, followed in the subject t_5 springs and, finally, the duration of t_1 .

The saliva immersion resulted in a decrease in roughness. Both the stainless steel as the TMA to the difference of the roughness of the length t_5 is greater than the difference of springs subject to a time t_3 and t_1 . For TMA, with respect to pH, the difference of the springs subjected to pH 6.75 was less than the difference observed at pH 4.

The effect of soaking in saliva fluoride in roughness of springs, resulting in increased roughness in most conditions for both alloys. For the pH to stainless steel, the difference of the roughness at pH 6.75 was greater than the difference of the springs subjected to pH 4. The opposite effect was found for the MRI alloy. For the fluorine, the difference of the roughness of the springs 22 600 ppm was less than the difference of the springs subjected to 1500 ppm, for both alloys.

The results were concordant with the roughness obtained from the SEM images.

Search the Ni ion, for stainless steel, was only positive for the situation at pH4 22600 ppm fluoride concentration for t5. For TMA research ion Mo with respect to pH, the pH was 6.75 who recorded the highest values in all conditions. Regarding variable length, the highest value was observed at T3, followed by t1 and t5 last.

Palavras-chave:

Biomecânica. Mola. Força. Proporção M/F. Corrosão. Saliva. Flúor. Rugosidade

Keywords:

Biomechanics. Force. M/F ratios. Loop. Corrosion. Saliva. Fluoride. Roughness

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	BIOLOGIA DO MOVIMENTO DENTÁRIO / FORÇA ORTODÔNTICA IDEAL	3
1.1.1.	FORÇA E MOVIMENTO	3
1.1.2.	QUANTIFICAÇÃO DA FORÇA.....	5
1.2.	BIOMECÂNICA	6
1.2.1.	CONCEITO DE EQUILÍBRIO	6
1.2.2.	FORÇA.....	6
1.2.3.	CENTRO DE RESISTÊNCIA	8
1.2.3.1.	LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE RESISTÊNCIA PARA UM DENTE	8
1.2.3.2.	LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE RESISTÊNCIA PARA UM GRUPO DE DENTES	9
1.2.4.	EFEITOS DA FORÇA	9
1.2.5.	CENTRO DE ROTAÇÃO	10
1.2.6.	TIPO DE MOVIMENTO	11
1.2.7.	SISTEMA DE FORÇAS	12
1.2.8.	PROPORÇÃO M/F.....	15
1.3.	CARACTERÍSTICAS DAS MOLAS.....	17
1.3.1.	FATORES DE INFLUÊNCIA	17
1.3.1.1.	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS	17
1.3.1.1.1.	MÓDULO DE ELASTICIDADE	17
1.3.1.1.2.	LIMITE ELÁSTICO	18
1.3.1.1.3.	EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA	18
1.3.1.1.4.	SUPERELASTICIDADE OU PSEUDOELASTICIDADE.....	18
1.3.1.1.5.	RESILIÊNCIA.....	19
1.3.1.1.6.	FORMABILIDADE, SOLDABILIDADE E FRICÇÃO.....	19
1.3.1.2.	SECÇÃO TRANSVERSAL DO ARAME	19
1.3.1.3.	TIPO DE ARAME.....	19
1.3.1.4.	DISTÂNCIA INTER-BRACKET	21
1.3.1.5.	QUANTIDADE DE ARAME	21
1.3.1.6.	DIREÇÃO DA CARGA	22
1.3.2.	GEOMETRIA DA MOLA: FORÇA, PROPORÇÃO C/D E PROPORÇÃO M/F.....	22
1.4.	CORROSÃO E ORTODONTIA.....	24
1.4.1.	BIOCOMPATIBILIDADE DOS FIOS ORTODÔNTICOS	24
1.4.2.	CORROSÃO DOS FIOS ORTODÔNTICOS	24
1.4.3.	TIPOS DE CORROSÃO	25
1.4.3.1.	CORROSÃO UNIFORME.....	25
1.4.3.2.	CORROSÃO PUNTIFORME OU POR PITE	26
1.4.3.3.	CORROSÃO POR FISSURAS OU CRÉVICE	26
1.4.3.4.	CORROSÃO GALVÂNICA.....	26
1.4.3.5.	CORROSÃO INFLUENCIADA POR MICRO-ORGANISMOS OU BIOCORROSÃO	26
1.4.4.	O EFEITO DO PH NA CORROSÃO DOS FIOS ORTODÔNTICOS	26
1.4.5.	O EFEITO DE AGENTES FLUORADOS E OUTROS AGENTES PROFILÁTICOS	27
1.4.6.	O CASO ESPECÍFICO DO AÇO INOXIDÁVEL E DO TMA	28
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1.	VARIÁVEL FORÇA E MOMENTO.....	33
2.1.1.	FORÇA E MOMENTO – FASE 1.....	33
2.1.1.1.	AMOSTRA	33
2.1.1.2.	MATERIAL	33
2.1.1.3.	MÉTODO	35
2.1.1.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38

2.1.1.5.	EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO	38
2.1.2.	CATALOGAÇÃO DAS MOLAS – FASE 2	39
2.1.2.1.	AMOSTRA	39
2.1.2.2.	MÉTODO	39
2.1.3.	IMERSÃO EM SALIVA – FASE 3	40
2.1.3.1.	MATERIAL E MÉTODO	40
2.1.4.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA – FASE 4	42
2.1.4.1.	MÉTODO	42
2.1.4.2.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
2.1.4.2.1.	MOLAS DE AÇO/TMA.....	43
2.1.4.2.2.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	44
2.1.5.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA – FASE 5	44
2.1.5.1.	MATERIAL.....	44
2.1.5.2.	AMOSTRA	44
2.1.5.3.	MATERIAL E MÉTODO	45
2.1.5.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
2.1.5.4.1.	MOLAS DE AÇO/TMA.....	45
2.1.5.4.2.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	46
2.2.	VARIÁVEL RUGOSIDADE	47
2.2.1.	AValiação DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE (PERFILOMETRIA MECÂNICA) DO ARAME – FASE 1	47
2.2.1.1.	AMOSTRA- FASE 1	47
2.2.1.2.	MATERIAL	47
2.2.1.3.	MÉTODO	48
2.2.2.	IMERSÃO EM SALIVA – FASE 2	49
2.2.2.1.	MATERIAL E MÉTODO	49
2.2.3.	RUGOSIDADE APÓS IMERSÃO EM SALIVA – FASE 3	50
2.2.3.1.	MATERIAL E MÉTODO	50
2.2.3.1.1.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
2.2.4.	RUGOSIDADE APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA – FASE 4	51
2.2.4.1.	MATERIAL E MÉTODO	51
2.2.4.1.1.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	52
2.3.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO (MEV) / ESPECTROMETRIA DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS-X (EDS) 53	
2.3.1.	MATERIAL	53
2.3.2.	AMOSTRA	54
2.3.2.1.	MATERIAL E MÉTODO	54
2.4.	ANÁLISE DOS PRODUTOS DE CORROSÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	55
2.4.1.	AMOSTRA	55
2.4.2.	MATERIAL	55
2.4.3.	MÉTODO	56
3.	RESULTADOS	59
3.1.	VARIÁVEL FORÇA E MOMENTO-.....	59
3.1.1.	VARIÁVEL FORÇA E MOMENTO – FASE 1.....	59
3.1.1.1.	VARIÁVEL FORÇA (G)	59
3.1.1.2.	VARIÁVEL PROPORÇÃO MOMENTO/FORÇA (MM)	60
3.1.1.2.1.	COMBINAÇÃO SEM PRÉ-ATIVAÇÃO	61
3.1.1.2.2.	COMBINAÇÕES COM PRÉ-ATIVAÇÃO	61
3.1.1.3.	EXATIDÃO E PRECISÃO DO MÉTODO	61
3.1.2.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA – FASE 2	62
3.1.2.1.	MOLAS DE AÇO	62
3.1.2.1.1.	PH4	62
3.1.2.1.1.1.	FORÇA	62
3.1.2.1.1.2.	MOMENTO.....	64
3.1.2.1.1.3.	MOMENTO/FORÇA	66

3.1.2.1.2.	PH 6.75.....	68
3.1.2.1.2.1.	FORÇA	68
3.1.2.1.2.2.	MOMENTO.....	69
3.1.2.1.2.3.	MOMENTO/FORÇA	71
3.1.2.1.3.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	73
3.1.2.1.3.1.	FORÇA	73
3.1.2.1.3.2.	MOMENTO.....	76
3.1.2.1.3.3.	MOMENTO/FORÇA	79
3.1.2.2.	MOLAS DE TMA	82
3.1.2.2.1.	PH4	82
3.1.2.2.1.1.	FORÇA	82
3.1.2.2.1.2.	MOMENTO.....	84
3.1.2.2.1.3.	MOMENTO/FORÇA	85
3.1.2.2.2.	PH6.75	87
3.1.2.2.2.1.	FORÇA	87
3.1.2.2.2.2.	MOMENTO.....	89
3.1.2.2.2.3.	MOMENTO/FORÇA	90
3.1.2.2.3.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	92
3.1.2.2.3.1.	FORÇA	92
3.1.2.2.3.2.	MOMENTO.....	96
3.1.2.2.3.3.	MOMENTO/FORÇA	98
3.1.3.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA – FASE 5	99
3.1.3.1.	MOLAS DE AÇO	99
3.1.3.1.1.	PH4	99
3.1.3.1.1.1.	FORÇA	99
3.1.3.1.1.2.	MOMENTO.....	101
3.1.3.1.1.3.	MOMENTO/FORÇA	103
3.1.3.1.2.	PH 6.75.....	105
3.1.3.1.2.1.	FORÇA	105
3.1.3.1.2.2.	MOMENTO.....	107
3.1.3.1.2.3.	MOMENTO/FORÇA	109
3.1.3.1.3.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	111
3.1.3.1.3.1.	FORÇA	111
3.1.3.1.3.2.	MOMENTO.....	111
3.1.3.1.3.3.	MOMENTO/FORÇA	113
3.1.3.2.	MOLAS DE TMA	117
3.1.3.2.1.	PH4	117
3.1.3.2.1.1.	FORÇA	117
3.1.3.2.1.2.	MOMENTO.....	119
3.1.3.2.1.3.	MOMENTO/FORÇA	121
3.1.3.2.2.	PH 6.75.....	123
3.1.3.2.2.1.	FORÇA	123
3.1.3.2.2.2.	MOMENTO.....	125
3.1.3.2.2.3.	MOMENTO/FORÇA	127
3.1.3.2.3.	DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS DIFERENÇAS	129
3.1.3.2.3.1.	FORÇA	129
3.1.3.2.3.2.	MOMENTO.....	129
3.1.3.2.3.3.	MOMENTO/FORÇA	132
3.2.	VARIÁVEL RUGOSIDADE	135
3.2.1.	AValiação DO EFEITO DA SALIVA NA RUGOSIDADE DAS MOLAS.....	135
3.2.1.1.	MOLAS DE AÇO	135
3.2.1.2.	MOLAS DE TMA	138
3.2.2.	AValiação DO EFEITO DO FLÚOR NA RUGOSIDADE DAS MOLAS.....	141

3.2.2.1.	MOLAS DE AÇO	141
3.2.2.2.	MOLAS DE TMA	145
3.3.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO (MEV)/ ESPECTROMETRIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	149
3.3.1.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM MEV, AMPLIAÇÃO X 180	149
3.3.2.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO E TMA/ PH4 E PH6,75 / AMPLIAÇÃO X 500, X 2000, X 5000..	151
3.3.2.1.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO PH 4 E PH 6,75 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 500 – LOCAL A – FIGURA 39 E 40, RESPETIVAMENTE	151
3.3.2.2.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO PH 4 E PH 6,75 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 2000 – LOCAL A – FIGURA 41 E 42, RESPETIVAMENTE.	155
3.3.2.3.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C	159
3.3.2.3.1.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO PH 4 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C – FIGURA 43, 44 E 45, RESPETIVAMENTE.....	159
3.3.2.3.2.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM AÇO PH 6,75 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C – FIGURA 46, 47E 48, RESPETIVAMENTE.	163
3.3.2.4.	ESPECTROMETRIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS) - AÇO/PH/FLÚOR.....	167
3.3.2.5.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM TMA PH4 E PH 6,75 - AMPLIAÇÃO X 500, X 2000, X 5000	170
3.3.2.5.1.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM TMA PH 4 E PH 6,75 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 500 – LOCAL A – FIGURA 49 E 50, RESPETIVAMENTE.	170
3.3.2.5.2.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM TMA PH 4 E PH 6 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 2000 – LOCAL A – FIGURA 51 E 52, RESPETIVAMENTE.	173
3.3.2.5.3.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM TMA EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C	176
3.3.2.5.3.1.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM TMA A PH 4 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C – FIGURA 53,54 E 55, RESPETIVAMENTE.	176
3.3.2.5.3.2.	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS TMA A PH 6,75 EM MEV, AMPLIAÇÃO X 5000 – LOCAL A, B E C – FIGURA 56, 57 E 58 RESPETIVAMENTE.....	181
3.3.2.6.	ESPECTROMETRIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS) - TMA/PH/FLÚOR.....	185
3.4.	ANÁLISE DOS PRODUTOS DE CORROSÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	188
4.	DISCUSSÃO	191
4.1.	FORÇA E MOMENTO – MOLA EM T.....	191
4.1.1.	FORÇA E MOMENTO – MOLA EM T – FASE 1.....	191
4.1.1.1.	AMOSTRA	191
4.1.1.2.	MÉTODO	191
4.1.1.3.	FORÇA.....	193
4.1.1.3.1.	PRÉ-ATIVAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA ATIVAÇÃO	193
4.1.1.3.2.	ESTUDOS COMPARATIVOS	194
4.1.1.4.	PROPORÇÃO M/F.....	195
4.1.2.	IDENTIFICAÇÃO DAS MOLAS E CONDIÇÕES DE ATIVAÇÃO – FASE 2	195
4.1.3.	IMERSÃO EM SALIVA – FASE 3	195
4.1.4.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA – FASE 4	196
4.1.4.1.	MOLAS EM AÇO	197
4.1.4.1.1.	FORÇA	197
4.1.4.1.2.	MOMENTO	197
4.1.4.1.3.	MOMENTO/FORÇA	198
4.1.4.2.	MOLAS EM TMA.....	198
4.1.4.2.1.	FORÇA	198
4.1.4.2.2.	MOMENTO	199
4.1.4.2.3.	MOMENTO/FORÇA	199
4.1.5.	FORÇA E MOMENTO APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA – FASE 5	199
4.1.5.1.	MATERIAL E MÉTODO	199
4.1.5.1.1.	CONCENTRAÇÃO IÃO FLÚOR	199
4.1.5.1.2.	IMERSÃO EM SOLUÇÃO FLUORETADA.....	200
4.1.5.1.3.	TEMPO DE IMERSÃO.....	200
4.1.5.2.	RESULTADOS.....	201

4.1.5.2.1.	MOLAS EM AÇO	201
4.1.5.2.1.1.	FORÇA	201
4.1.5.2.1.2.	MOMENTO.....	203
4.1.5.2.1.3.	MOMENTO/FORÇA	205
4.1.5.2.2.	MOLAS EM TMA	206
4.1.5.2.2.1.	FORÇA	206
4.1.5.2.2.2.	MOMENTO.....	208
4.1.5.2.2.3.	MOMENTO/FORÇA	210
4.2.	VARIÁVEL RUGOSIDADE	212
4.2.1.	MATERIAL E MÉTODO	212
4.2.2.	RUGOSIDADE – ESTADO INICIAL	212
4.2.3.	RUGOSIDADE – IMERSÃO EM SALIVA.....	212
4.2.4.	RUGOSIDADE – IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA.....	213
4.2.5.	AValiação DA TEXTURA TRIDIMENSIONAL (3D) DAS AMOSTRAS.	213
4.3.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO	214
4.4.	ANÁLISE DOS PRODUTOS DE CORROSÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	214
5.	CONCLUSÕES.....	219
5.1.1.	FORÇA E MOMENTO – FASE 1.....	219
5.1.2.	IMERSÃO EM SALIVA.....	219
5.1.3.	IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA.....	221
5.2.	RUGOSIDADE	222
5.2.1.	AValiação DO EFEITO DA SALIVA NA RUGOSIDADE DAS MOLAS.....	222
5.2.2.	AValiação DO EFEITO DO FLÚOR NA RUGOSIDADE DAS MOLAS	223
5.3.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO.....	223
5.4.	ANÁLISE DOS PRODUTOS DE CORROSÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	224
BIBLIOGRAFIA		227
ANEXOS		237

FIGURA 1.	DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO NO LIGAMENTO PERIODONTAL EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE FORÇAS (ADAPTADO DE QUINN E YOSHIKAWA [18]).	3
FIGURA 2.	GRÁFICO ILUSTRATIVO DOS PERÍODOS DE MOVIMENTAÇÃO DENTÁRIA (ADAPTADO DE SILVA[7]).	4
FIGURA 3.	CÁLCULO DA SOMA DE FORÇAS A – DUAS FORÇAS COM MESMO PONTO DE APLICAÇÃO B- CONSTRUÇÃO DO PARALELOGRAMA C- RESULTANTE (ADAPTADO DE SMITH ET AL.[8]).	7
FIGURA 4.	COMBINAÇÃO DE DUAS FORÇAS COM PONTOS DE APLICAÇÃO DIFERENTES (ADAPTADO DE SMITH ET AL.[8]).	7
FIGURA 5.	EXEMPLOS DA DETERMINAÇÃO DO SENTIDO DO MOMENTO DA FORÇA (ADAPTADO DE SMITH ET AL.[8])	10
FIGURA 6.	TIPOS DE MOVIMENTO (ADAPTADO DE SAKIMA [64])	12
FIGURA 7.	SISTEMAS EQUIVALENTES DE FORÇA (ADAPTADO DE SAKIMA [64]).	12
FIGURA 8.	SISTEMA UM BINÁRIO (ADAPTADO DE BURSTONE E KOENING [67]).	13
FIGURA 9.	SISTEMA DE FORÇAS EM FUNÇÃO DA ANGULAÇÃO α DO RESPECTIVO BRACKET RELATIVAMENTE AO EIXO INTER-BRACKET (ADAPTADO DE HALAZONETIS [68]).	13
FIGURA 10.	CÁLCULO DO SISTEMA DE FORÇAS EQUIVALENTE NO CRES.	14
FIGURA 11.	SISTEMA DE FORÇAS NO BRACKET EM FUNÇÃO DAS DOBRAS (ADAPTADO DE LINDAUER [66])	15
FIGURA 12.	GRÁFICO DA PROPORÇÃO M/F NO BRACKET E A DISTÂNCIA DO CROT. AO CRES. (ADAPTADO DE SMITH E BURSTONE [9])	16
FIGURA 13.	MOLA T E RESPECTIVAS DIMENSÕES (MM)	33
FIGURA 14.	APARELHO ORTHOMEASURE® MOMENT/FORCE	34
FIGURA 15.	MESA DE TESTES	34
FIGURA 16.	COMPARADOR DIGITAL	35
FIGURA 17.	MOLA T, IDENTIFICAÇÃO NUMÉRICA DAS DOBRAS	35
FIGURA 18.	MOLA T, COM PRÉ-ATIVACÃO DE 20º	36
FIGURA 19.	MOLA T, COM PRÉ-ATIVACÃO DE 40º	36
FIGURA 20.	MOLA T, COM PRÉ-ATIVACÃO DE 20ºº	36
FIGURA 21.	MOLA T, COM PRÉ-ATIVACÃO DE 40ºº	36
FIGURA 22.	MOLA T	37
FIGURA 23.	PASSO1	38
FIGURA 24.	ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO NO CÁLCULO DO MOMENTO.	39
FIGURA 25.	FILTRAGEM DA SALIVA ARTIFICIAL NA CAMARA DE FLUXO	41
FIGURA 26.	PLACAS DE CULTURA COM MOLAS	42
FIGURA 27.	EQUIPAMENTO DE RUGOSIMETRIA DA MARCA HOMMELWERKE	47
FIGURA 28.	SUPERFÍCIE DE LEITURA DO PARÂMETRO – RUGOSIDADE	48
FIGURA 29.	RA - DESVIO MÉDIO DO PERFIL A PARTIR DA LINHA MÉDIA.	49
FIGURA 30.	APARELHO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARRIMENTO DA MARCA JEOLJSM6301F, UTILIZADO PARA A CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MICROESTRUTURAL DAS SUPERFÍCIES DOS IMPLANTES, COM ELEVADA RESOLUÇÃO ESPACIAL.	53
FIGURA 31.	LOCAIS DE OBSERVAÇÃO DA MOLA	54
FIGURA 32.	- AÇO NO ESTADO INICIAL	137
FIGURA 33.	AÇO APÓS IMERSÃO EM SALIVA	137

FIGURA 34.	TMA NO ESTADO INICIAL.....	140
FIGURA 35.	TMA APÓS IMERSÃO EM SALIVA.....	141
FIGURA 36.	AÇO APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA.	144
FIGURA 37.	TMA APÓS IMERSÃO EM SALIVA FLUORETADA.	148
FIGURA 38.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS EM MEV, AUMENTO X 180.....	150
FIGURA 39.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 4, AUMENTO X 500	153
FIGURA 40.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 6,75, AUMENTO X 500	154
FIGURA 41.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 4, AUMENTO X 2000	157
FIGURA 42.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 6.75, AUMENTO X 2000	158
FIGURA 43.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 4A, AUMENTO X 5000	160
FIGURA 44.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 4B, AUMENTO X 5000	161
FIGURA 45.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 4C, AUMENTO X 5000	162
FIGURA 46.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 6.75A, AUMENTO X 5000	164
FIGURA 47.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 6.75B, AUMENTO X 5000	165
FIGURA 48.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE AÇO A PH 6.75C, AUMENTO X 5000	166
FIGURA 49.	EDS A PARTÍCULAS	169
FIGURA 50.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 4, AUMENTO X 500	171
FIGURA 51.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 6.75, AUMENTO X 500	172
FIGURA 52.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 4, AUMENTO X 2000.....	174
FIGURA 53.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA PH 6.75, AUMENTO X 2000.....	175
FIGURA 54.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 4A, AUMENTO X 5000	178
FIGURA 55.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 4B, AUMENTO X 5000	179
FIGURA 56.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 4C, AUMENTO X 5000	180
FIGURA 57.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 6.75A, AUMENTO X 5000	182
FIGURA 58.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 6.75B, AUMENTO X 5000	183
FIGURA 59.	SUPERFÍCIE DAS MOLAS DE TMA A PH 6.75C, AUMENTO X 5000	184
FIGURA 60.	EDS A PARTÍCULAS	187

GRÁFICO 1.	VARIÁVEL FORÇA.....	59
GRÁFICO 2.	VARIÁVEL PROPORÇÃO M/F.....	60
GRÁFICO 3.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FORÇA MÉDIA E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH4.....	63
GRÁFICO 4.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH4.....	65
GRÁFICO 5.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO/FORÇA MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH4	67
GRÁFICO 6.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FORÇA MÉDIA E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH 6.75	69
GRÁFICO 7.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH 6.75.....	71
GRÁFICO 8.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO/FORÇA MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (AÇO) – PH6.75	73
GRÁFICO 9.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (FORÇA) – AÇO	74
GRÁFICO 10.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (MOMENTO) – AÇO	77
GRÁFICO 11.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (MOMENTO/FORÇA) – AÇO	80
GRÁFICO 12.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FORÇA MÉDIA E DA DIFERENÇA MÉDIA (TMA) – PH4	83
GRÁFICO 13.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (TMA) – PH4	85
GRÁFICO 14.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO/FORÇA MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA DO (TMA) – PH4	87
GRÁFICO 15.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FORÇA MÉDIA E DA DIFERENÇA MÉDIA (TMA) – PH6.75	88
GRÁFICO 16.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (TMA) – PH6.75	90
GRÁFICO 17.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOMENTO/FORÇA MÉDIO E DA DIFERENÇA MÉDIA (TMA) – PH6.75.....	92
GRÁFICO 18.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (FORÇA) – TMA.....	94
GRÁFICO 19.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (MOMENTO) – TMA	97
GRÁFICO 20.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO (MOMENTO/FORÇA) – TMA.....	98
GRÁFICO 21.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DA FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH4.....	101
GRÁFICO 22.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH4	103
GRÁFICO 23.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO/FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH4	105
GRÁFICO 24.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DA FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH6.75	107
GRÁFICO 25.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH6.75	109
GRÁFICO 26.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO/FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (AÇO) – PH6.75	110
GRÁFICO 27.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO COM FLÚOR (MOMENTO) – AÇO.....	112
GRÁFICO 28.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO COM FLÚOR (MOMENTO/FORÇA) – AÇO	115
GRÁFICO 29.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DA FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH4	118
GRÁFICO 30.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH4 ...	120
GRÁFICO 31.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIF. MÉDIA DO MOMENTO/FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH4 ..	122
GRÁFICO 32.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DA FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH6.75	124

GRÁFICO 33.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH6.75	126
GRÁFICO 34.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DIFERENÇA MÉDIA DO MOMENTO/FORÇA APÓS IMERSÃO EM FLÚOR (TMA) – PH6.75	128
GRÁFICO 35.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO COM FLÚOR (MOMENTO) – TMA	130
GRÁFICO 36.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO COM FLÚOR (MOMENTO/FORÇA) – TMA.....	133
GRÁFICO 37.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO DA RUGOSIDADE – TMA	139
GRÁFICO 38.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO DA RUGOSIDADE COM FLÚOR – AÇO	143
GRÁFICO 39.	GRÁFICO QQ DOS RESÍDUOS DO MODELO DA RUGOSIDADE COM FLÚOR – TMA	147
GRÁFICO 40.	EDS AÇO INOXIDÁVEL COMO RECEBIDO.....	152
GRÁFICO 41.	EDS AÇO INOXIDÁVEL PH4	155
GRÁFICO 42.	EDS AÇO INOXIDÁVEL PH 6,75	156
GRÁFICO 43.	EDS- AÇO/ PH 4/ 1500 PPM.....	167
GRÁFICO 44.	EDS - AÇO/ PH 4/ 22600 PPM.....	167
GRÁFICO 45.	EDS- AÇO/ PH 6,75/ 1500.....	168
GRÁFICO 46.	EDS- AÇO/ PH 6,75/ 22600 PPM.....	168
GRÁFICO 47.	EDS AÇO/ PH 4/ 22600 PPM.....	169
GRÁFICO 48.	TMA	170
GRÁFICO 49.	EDS TMA PH 4I.....	176
GRÁFICO 50.	EDS TMA PH 6,75.....	177
GRÁFICO 51.	EDS- TMA/ PH 4/ 1500 PPM	185
GRÁFICO 52.	EDS- TMA/ PH 4/ 22600 PPM	185
GRÁFICO 53.	EDS- TMA/ PH 6,75/ 1500 PPM	186
GRÁFICO 54.	EDS- TMA/ PH 6,75/ 22600 PPM	186
GRÁFICO 55.	EDS- TMA (PARTÍCULAS)/ PH 6,75/ 22600 PPM	187
GRÁFICO 56.	AÇO INOXIDÁVEL – FORÇA PH4	202
GRÁFICO 57.	AÇO INOXIDÁVEL- FORÇA -PH6,75	202
GRÁFICO 58.	AÇO INOXIDÁVEL - MOMENTO -PH4	204
GRÁFICO 59.	EDS AÇO INOXIDÁVEL – MOMENTO- PH6.75	204
GRÁFICO 60.	AÇO INOXIDÁVEL – MOMENTO/FORÇA - PH4	205
GRÁFICO 61.	AÇO INOXIDÁVEL – MOMENTO/FORÇA PH6.75	206
GRÁFICO 62.	TMA - FORÇA PH4.....	207
GRÁFICO 63.	TMA – FORÇA – PH6.75	208
GRÁFICO 64.	TMA – MOMENTO - PH4	209
GRÁFICO 65.	TMA – MOMENTO – PH6.75	209
GRÁFICO 66.	TMA – MOMENTO/FORÇA - PH4.....	210
GRÁFICO 67.	TMA . MOMENTO/FORÇA – PH6.75.....	211

TABELA 1.	VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO C/D, CARGA E AMPLITUDE MÁXIMA RELATIVAMENTE À SECÇÃO DO ARAME. D- DIÂMETRO H- ALTURA B- LARGURA (ADAPTADO DE BURSTONE ET AL. [74])	19
TABELA 2.	TABELA DE REGISTOS EM EXCEL	40
TABELA 3.	COMPOSIÇÃO DA SALIVA.....	40
TABELA 4.	GRUPOS DE IMERSÃO EM SALIVA	43
TABELA 5.	GRUPOS DE IMERSÃO EM SALIVA FLURETADA.....	45
TABELA 6.	CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO	48
TABELA 7.	GRUPOS FORMADOS PARA MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DAS MOLAS EM SALIVA	50
TABELA 8.	GRUPOS PARA MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DAS MOLAS EM SALIVA FLUORETADA.....	51
TABELA 9.	COMBINAÇÃO LIGA PH/TEMPO.....	54
TABELA 10.	COMBINAÇÃO LIGA PH/TEMPO/PPM FLUOR	54
TABELA 11.	PESQUISA DE IÕES	55
TABELA 12.	PARÂMETROS DE ANÁLISE DO ESPECTROFOTÓMETRO	55
TABELA 13.	ANÁLISE DA EXATIDÃO E PRECISÃO DO APARELHO	61
TABELA 14.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NA FORÇA – AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	73
TABELA 15.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NO MOMENTO– AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	76
TABELA 16.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NO MOMENTO/FORÇA– AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	79
TABELA 17.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NA FORÇA – TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	93
TABELA 18.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NO MOMENTO– TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	96
TABELA 19.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NO MOMENTO/FORÇA– TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	98
TABELA 20.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NO MOMENTO – AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	111
TABELA 21.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NO MOMENTO/FORÇA – AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	114
TABELA 22.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NO MOMENTO – TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	129
TABELA 23.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NO MOMENTO/FORÇA – TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	132
TABELA 24.	TESTE DE NORMALIDADE DAS DIFERENÇAS DA RUGOSIDADE (AÇO).....	135
TABELA 25.	TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DAS DIFERENÇAS DA RUGOSIDADE (AÇO)	135
TABELA 26.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NA RUGOSIDADE – AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODEL	136

TABELA 27.	TESTE DE NORMALIDADE DAS DIFERENÇAS DA RUGOSIDADE (TMA)	138
TABELA 28.	TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DAS DIFERENÇAS DA RUGOSIDADE (TMA) FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NO MOMENTO/FORÇA – TMA	138
TABELA 29.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS NA RUGOSIDADE – TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	139
TABELA 30.	NÚMERO DE MOLAS TESTADAS (AÇO)	141
TABELA 31.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NA RUGOSIDADE – AÇO RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	142
TABELA 32.	NÚMERO DE MOLAS TESTADAS (TMA)	145
TABELA 33.	INFLUÊNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS COM FLÚOR NA RUGOSIDADE – TMA RESULTADOS DA ESTIMAÇÃO DO MODELO	146
TABELA 34.	EDS AÇO INOXIDÁVEL PH 4 - ELEMENTOS	155
TABELA 35.	EDS AÇO INOXIDÁVEL PH 6,75	156
TABELA 36.	EDS TMA PH 4 - ELEMENTOS	176
TABELA 37.	EDS TMA PH 6,75- ELEMENTOS	177
TABELA 38.	RESULTADOS DA PESQUISA DO IÃO NÍQUEL	188
TABELA 39.	RESULTADOS DA PESQUISA DO IÃO MOLIBDÊNIO	188
TABELA 40.	ESTUDOS COMPARATIVOS	194
TABELA 41.	PESQUISA DE IÕES MOLIBDÊNIO	215

Introdução

1. Introdução

"Embora o mecanismo de controlo do movimento dentário seja basicamente biológico, este inicia-se por ação de uma força. Até que o movimento se consiga desencadear por ação farmacológica, o ortodontista estará sempre vinculado à mecânica". Esta afirmação proferida em 1959 por Weinstein e Haack^[1] mantém-se ainda hoje atual.

Em ortodontia a biomecânica estuda a relação entre as forças mecânicas e as respostas dos sistemas biológicos^[2]. Assim, para a formulação de juízos válidos acerca da resposta de um dente ou grupo de dentes em relação a uma força ortodôntica, implica conhecer o sistema de forças que nele opera.^[3]

A partir da década de 40, ortodontistas como Tweed e Strang, discordando da teoria “ não extracionista” adotada por Angle, passaram a preconizar, dentro do planeamento ortodôntico, uma nova alternativa terapêutica - a extração de peças dentárias.^[4] Esta atitude incrementou uma necessidade mecânica – o encerramento de espaços.

Há diversas técnicas para se fechar espaços através da movimentação dentária. De forma resumida diremos que pode fazer-se através de uma mecânica de deslizamento, onde os dentes deslizam ao longo de um arco metálico; nestes casos uma boa parte da eficácia do deslizamento depende do coeficiente de atrito criado pelo contacto do arame com o sulco de deslizamento do *bracket* (os chamados sistemas com fricção). Outra solução é promover o deslocamento através com molas ortodônticas, onde o apoio se faz nos dois extremos entre os quais a mola é ativada; são os chamados sistemas sem fricção.^[5]

Entre os diversos dispositivos descritos na literatura sobre os sistemas sem fricção encontra-se uma vasta gama de molas que, incorporadas a arcos contínuos ou segmentados, são utilizadas para a movimentação dentária. É importante que, ao utilizar molas para o fechamento de espaços, o profissional confine aos objetivos o sistema de forças por ele gerado aquando da sua ativação, ou seja, tenha noção não só da magnitude das forças, mas também dos momentos resultantes.^[5] Em virtude do grande número de opções, deve haver uma cuidadosa atenção na seleção do modelo mais apropriado para cada caso.

O clínico detém o controlo sobre três variáveis mecânicas determinantes no sucesso da movimentação dentária. A primeira variável é a proporção momento-força (M/F); a segunda diz respeito à magnitude do momento e da força empregue; e a terceira, à constância dos mesmos.^[6]

É a razão entre o momento e a força que determina como o dente se move, isto é, onde se localiza o centro de rotação. A resposta clínica quantitativa é determinada pelos outros dois fatores do sistema de forças, a magnitude e constância das forças.^[6]

A Intensidade de força ótima no âmbito ortodôntico é aquela que resulta num movimento rápido com um mínimo de desconforto e de dano.^[7]

A constância das forças refere-se à capacidade da aparatologia em manter a mesma força durante um movimento dentário. Do ponto de vista técnico: a proporção carga/deflexão (C/D) define a constância de uma mola. A proporção C/D traduz o aumento de força produzida por cada unidade de ativação. Assim, a mola ideal será aquela que induza determinado movimento dentário desejado (proporção M/F) com uma resposta biológica ótima através de uma magnitude de força relativamente constante.^[3]

Os movimentos dentários indesejáveis ou insuficientes que ocorrem durante a correção ortodôntica, resultam fundamentalmente de variações individuais nas respostas biológicas e/ou uso impróprio de forças. O conhecimento e a aplicação das regras da biomecânica permite a otimização de uma destas variáveis. Neste contexto a mensuração e controlo da proporção M/F no *bracket* são a chave mestra para um movimento dentário previsível e controlado.^[8]

O recurso a molas pré-calibradas em laboratório não é garantia desse controlo. Na utilização clínica o seu sistema de forças pode variar, pois depende de múltiplos fatores tais como a angulação dos *brackets*, as distâncias inter-*brackets* e até mesmo os erros de fabrico. Além disso a resposta de um dente a um determinado sistema de forças também está vinculada às diferenças inerentes às condições biológicas de cada indivíduo e de cada dente em particular.^[9]

Além disso o meio oral é, particularmente, favorável à biodegradação de metais devido às suas propriedades microbiológicas, iónicas, térmicas, de pH e enzimáticas.^[10-13]

Assim o resultado final do sistema de forças desenvolvido pela aparelhagem ortodôntica também está dependente do possível efeito corrosivo do meio oral.

O estudo da interação de materiais com sistemas biológicos (desempenho biológico de um material) é habitualmente composto por duas partes: (1) a resposta do material, com os efeitos no material e a sua degradação; e (2) a resposta do hospedeiro, que envolve o conceito de biocompatibilidade, com avaliação da resposta do tecido e dos efeitos sistémicos.^[14]

A corrosão é, por definição, a degradação ou destruição de um material quando exposto a determinado meio. A corrosão de um metal que ocorre em ambientes aquosos é uma reação do tipo eletroquímica, na qual ocorre transferência de eletrões de um componente para o outro, com perda de massa, rugosidade da superfície e diminuição da resistência do metal, podendo levar à falha mecânica do mesmo.^[12, 15-17]

A corrosão dos arames ortodônticos é um problema que há muito preocupa os ortodontistas, uma vez que, por um lado, os produtos de corrosão podem ser absorvidos pelo organismo causando efeitos locais ou sistémicos em pacientes suscetíveis; por outro

lado, a corrosão dos arames ortodônticos influencia as propriedades físicas dos mesmos e, conseqüentemente, o seu desempenho clínico.

1.1. Biologia do movimento dentário / Força ortodôntica ideal

1.1.1. Força e movimento

A magnitude da força é um conceito de fácil percepção e convenientemente mensurável. No entanto, a sua referência isolada é insuficiente na descrição das forças desenvolvidas pelos aparelhos ortodônticos. O verdadeiro parâmetro mecânico no movimento dentário não é a magnitude da força por si, mas a magnitude de pressão/tensão gerada pela aparelhagem no ligamento periodontal circundante.^[18]

Este conceito está ilustrado na figura 1. Em A, quando o dente é inclinado por ação de uma força com determinada magnitude, a distribuição da pressão no ligamento periodontal é desigual. Ocorre uma compressão elevada nos terços cervicais e apicais e uma menor compressão no terço médio. Em B é aplicada a mesma magnitude de força mas com associação de um momento, resultando numa distribuição da pressão mais uniforme. Torna-se evidente que embora a magnitude da força aplicada em ambos os exemplos seja a mesma, o movimento dentário não o será.^[18]

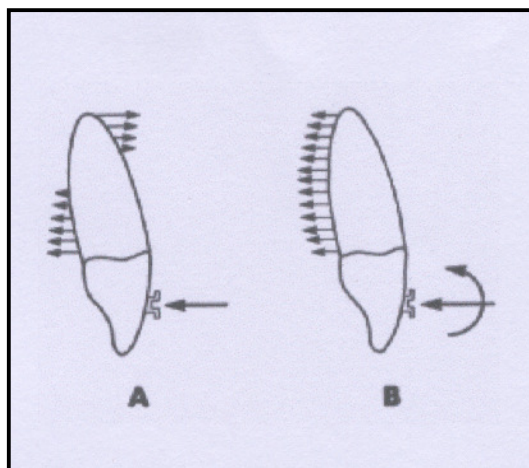


Figura 1. Distribuição da pressão no ligamento periodontal em função do sistema de forças (adaptado de Quinn e Yoshikawa [18]).

O tipo de movimento dentário (inclinação, translação, rotação, extrusão e intrusão) depende da distribuição da força no ligamento periodontal (e subsequentemente da pressão). Torna-se essencial especificar o tipo mas também a quantidade de força necessária para que ocorra o deslocamento dentário.^[7, 11, 12, 19]

O conceito atual de força ortodôntica ideal assenta na hipótese de se obter uma força com determinada magnitude e característica temporal capaz de provocar uma taxa máxima de movimento com o máximo de conforto e o mínimo dano.^[7, 13, 16] O facto de uma força ser eficaz na indução do movimento dentário, não indica necessariamente que os princípios

definidos para força ortodôntica ideal tenham sido respeitados. Pelo contrário, força eficiente é aquela que consegue o objetivo em vista – movimentação dentária ou seja é eficaz também – mas, dentro de um princípio de ergonomia biológica, em que se obtém o máximo de efeito com um mínimo de esforço tecidular e de efeitos secundários, dentro das limitações existentes. A força ortodôntica ideal será, por conseguinte, uma força eficiente.^[7] Outro desenvolvimento importante na pesquisa da força ortodôntica é a constatação do movimento dentário em dois períodos.^[20] Na medição do movimento dentário durante o período inicial observam-se duas fases: a fase inicial, denominada fase de compressão, traduz-se pelo movimento efetuado devido à compressão gradual do ligamento periodontal; à qual se segue a fase de hialinização, em que não se verifica movimentação dentária. O segundo período começa com o reinício da movimentação dentária, consequente à reabsorção do osso alveolar (Fig. 2).

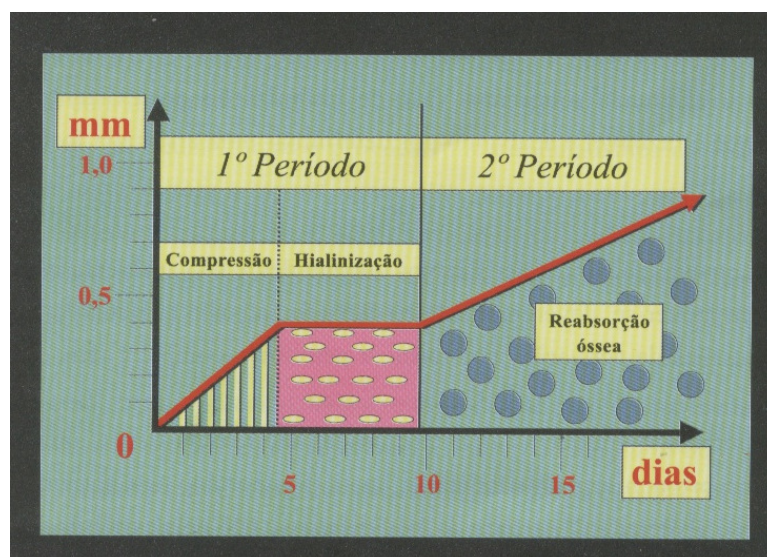


Figura 2. Gráfico ilustrativo dos períodos de movimentação dentária (adaptado de Silva[7]).

Associada à ideia de força ortodôntica ideal ótima, em determinada situação clínica, está a teoria das forças diferenciais. Esta postula que a diferença na taxa de movimento entre dois dentes ou grupo de dentes, submetidos a uma força semelhante, ocorre devido às diferentes áreas da superfície radicular envolvidas.^[17]

Empiricamente sabia-se que a taxa de movimento crescia com o aumento da intensidade da força, mas nem sempre se verificava esse maior deslocamento. Quinn e Yoshikawa^[18] analisaram os resultados de vários estudos com o propósito de relacionar a magnitude da força com a taxa de movimento dentário.

Verificaram que a relação entre taxa de movimento e o aumento da magnitude da força é linear até um determinado valor, a partir do qual não provoca apreciável aumento de movimento.

O conceito acarreta importantes implicações clínicas tanto no planejamento da mecânica terapêutica como nos objetivos de tratamento. O clínico operando segundo este conceito pode controlar o movimento de duas formas:

- diminuindo ou aumentando a superfície radicular da unidade de ancoragem;
- desenhando um sistema que desenvolva uma força contínua num intervalo de valores fisiológicos (baixa proporção C/D), com uma proporção M/F desejada e relativamente constante.

Na tentativa de obter mais explicações sobre a biomecânica do movimento dentário, tem sido utilizados vários métodos para prever a resposta tecidual às forças ortodônticas, nomeadamente, modelos analíticos^[21, 22], sistemas foto-elásticos^[23-25], holografia laser^[26] e, mais recentemente, o método de elementos finitos.^{[27-32] [33] [34]}

1.1.2. Quantificação da força

A força aplicada à coroa de um dente é transmitida para a raiz e em seguida para o seu osso alveolar através do ligamento periodontal, determinando alterações adaptativas em todo o complexo dento-alveolar envolvido.^[1]

Na literatura encontram-se referências discrepantes para os valores da intensidade da força a aplicar para a movimentação de cada dente ou grupo de dentes. Os valores referenciados em vários trabalhos^[6, 35-41] indiciam um intervalo de força para a movimentação dentária. Por exemplo; no caso da retração canina o intervalo variou entre os 75g e 260 g; para a retração do bloco incisivo maxilar o intervalo situou-se entre os 200g e 300g e para o bloco mandibular rondou os 250 g; no caso da retração em massa os valores para a arcada maxilar oscilaram entre os 500g e 600g enquanto na arcada mandibular o intervalo foi 425g a 480g. Quinn e Yoshikawa[18] defrontaram-se com o problema das metodologias diferentes e os erros sistemáticos na comparação entre os vários estudos, acerca da quantificação de um valor para a intensidade da força ortodôntica.

Esta dificuldade foi também evidenciada por Ren et al.^[16] na tentativa de realizar um estudo de meta-análise (1966-2001), referente à força e intervalo de força ótima no movimento dentário. Eles viram-se impossibilitados de o realizar devido à enorme discrepância de valores e de resultados encontrados na literatura. Por exemplo, em vários estudos experimentais em humanos, referenciados pelos autores, o intervalo para ativação inicial variou entre os 18 g e os 1500 g.

Alguns dos erros de metodologia mais frequentemente encontrados e referidos em estudos^[2, 16, 18, 42] são:

- o não controlo e classificação do tipo de movimento;
- os diferentes intervalos de tempo entre medições;
- os erros de medição.

Segundo vários autores^[11, 13, 16, 18, 28, 31, 42-44] a intensidade de força adequada para movimentar qualquer elemento dentário dependerá de diversas variáveis, como: (1) o tipo de movimento a ser obtido; (2) a resposta biológica individual; (3) a área de contacto do dente com o ligamento periodontal, ou seja, anatomia dentária e superfície de suporte ósseo. A estas questões acresce a dificuldade de encontrar uma metodologia adequada, com resultados reprodutíveis.

1.2. Biomecânica

A constante evolução dos elementos constituintes do aparelho ortodôntico tem contribuído significativamente para uma redução do esforço físico e do tempo clínico na ativação dos aparelhos. Mas, não eliminou de forma alguma a necessidade do entendimento e da aplicação básica dos princípios mecânicos, bem como do conhecimento dos fundamentos utilizados na análise de forças e sistemas de forças e campo de estudo da mecânica. [45, 46]

1.2.1. Conceito de equilíbrio

A mecânica baseia-se nas Leis de movimento de Newton, e usualmente três áreas são identificadas: a estática, a dinâmica e a resistência dos materiais. A estática diz respeito à primeira lei de movimento que descreve o equilíbrio: “todo o corpo continua estático ou em movimento uniforme a não ser que seja alterado por ação de uma força”. Todo o corpo em equilíbrio, não tem forças ou momentos a atuarem sobre ele. O mesmo é dizer que a soma de todas as forças e momentos sobre ele é igual a zero. [47]

Quando o aparelho ortodôntico é ativado o movimento dentário não ocorre de imediato, mas processa-se muito lentamente. Por esta razão as leis físicas da estática são consideradas adequadas para a descrição dos sistemas de forças instantâneos produzidos pelos aparelhos ortodônticos. Estas são as condições sob as quais assenta a análise dos sistemas de forças ortodônticas.

As leis físicas da estática são governadas pela terceira Lei de Newton, que sumariamente afirma que para cada ação existe uma reação igual e oposta. Uma vez que a colocação/ativação dos aparelhos não provoca movimento instantâneo, a resultante do sistema de forças desenvolvido tem de ser igual a zero (equilíbrio estático). Esta condição é obrigatória para toda a aparatologia ortodôntica, independentemente da filosofia de tratamento adotada. [48]

1.2.2. Força

A força, grandeza vetorial, é representada por um vetor aplicado, caracterizado com uma direção, sentido, ponto de aplicação e intensidade. A localização do ponto de aplicação na linha de ação (direção) da força não tem influência no tipo de movimento obtido. O mais importante é a relação entre a linha de ação e o centro de resistência. [8, 49]

A segunda Lei de Newton postula que a aceleração de um corpo ocorre na direção da força que a produz, sendo proporcional a esta e inversamente proporcional à massa do corpo. [48]

$$a = F/m$$

Dimensionalmente, a força é o produto da massa e aceleração ($F = m \times a$), sendo a unidade de medida no Sistema internacional o Newton (N). Em unidades equivalentes a força

gravítica (peso) pode ser dimensionada por grama-força (gf). Na literatura ortodôntica, e de forma simplificada esta é usualmente apresentada em unidade de massa: grama (g). Não esquecendo que massa e peso são proporcionais, embora, não sejam a mesma coisa.

A resultante de um sistema de forças é o sistema de forças mais simples ao qual um determinado conjunto de forças pode ser reduzido de forma a produzir o mesmo efeito externo sobre o corpo. A ação de várias forças sobre um corpo rígido pode ser substituída pela ação de uma resultante obtida através do cálculo vetorial. ^[8, 50]

No cálculo da soma de forças, a situação mais simples é a soma de duas forças com o mesmo ponto de aplicação. A resultante é determinada pela diagonal do respectivo paralelogramo (Fig. 3) ou através da soma das forças decompostas nos eixos x, y e z. ^[8, 51]

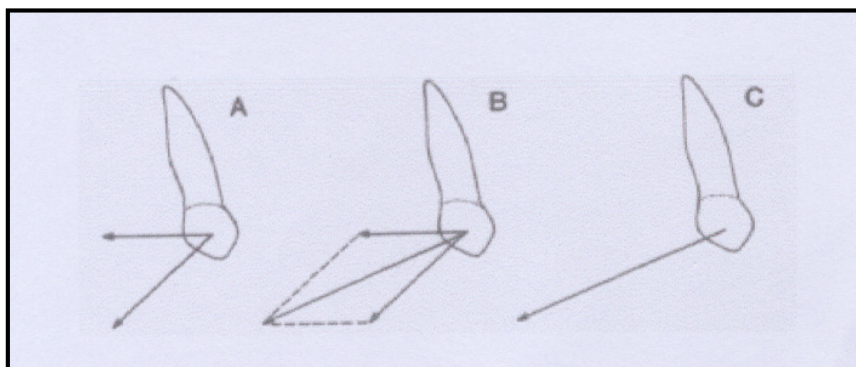


Figura 3. Cálculo da soma de forças A – duas forças com mesmo ponto de aplicação B- construção do paralelogramo C- resultante (adaptado de Smith et al.[8]).

No caso das forças apresentarem pontos de aplicação diferentes, a utilização do mesmo método do paralelogramo tem subjacente uma lei básica da mecânica estática:

Transmissibilidade da força – o efeito externo de uma força que age sobre um corpo é independente de onde, ao longo da sua linha de ação, a força é aplicada (Fig. 4). ^[8, 51]

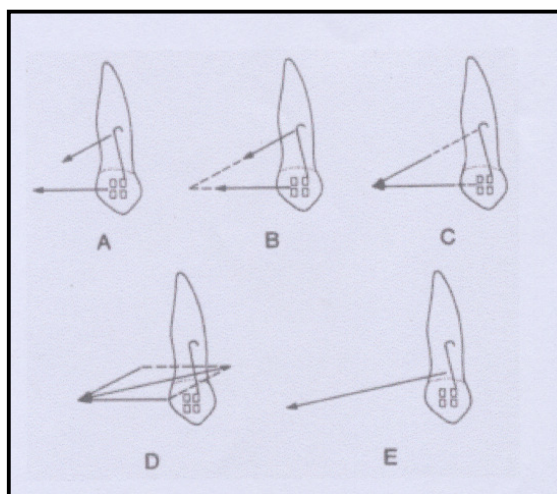


Figura 4. Combinação de duas forças com pontos de aplicação diferentes (adaptado de Smith et al.[8]).

1.2.3. Centro de resistência

Qualquer corpo livre apresenta um ponto a partir do qual, teoricamente, toda a sua massa se concentra. Se uma força é aplicada nesse ponto, todos os restantes pontos do corpo seguem o mesmo deslocamento, movimentando-se o corpo em translação. Este ponto é denominado como o centro de massa. Um dente responde de modo diferente face à aplicação de uma força, comparativamente a um corpo livre, porque se desloca articulado com o osso alveolar, através do ligamento periodontal. O movimento resultante depende não apenas das características próprias do dente, mas também dos elementos que o envolvem. No caso do dente, o ponto análogo ao centro de massa é o centro de resistência (Cres). O Cres corresponde ao ponto no qual se concentra a resistência do dente ao movimento. Quando uma força é aplicada neste ponto ocorre um movimento de translação.[52] Ou seja, esse ponto é o centro de massa do conjunto- dentes / osso / ligamento.

1.2.3.1. Localização do centro de resistência para um dente

Em relação à localização do Cres nos dentes mono-radulares, têm sido referidos vários valores na literatura. Segundo Christiansen e Burstone^[53] a sua localização está em média a 40% do comprimento radicular medido desde a crista alveolar. Este valor foi calculado através de um modelo bidimensional, no qual por convenção foi atribuída à raiz uma forma de parábola. Nikolai^[11] baseando-se numa análise bidimensional, apresentou 52% para o incisivo maxilar e 50% para o canino, como localização do Cres na distância medida também da crista alveolar. Burstone e Pryputniewicz^[26] recorreram a um modelo físico tridimensional de uma parabólica e experimentalmente, através da técnica holográfica localizaram para o incisivo maxilar o Cres a 31% do comprimento radicular.

Com o recurso à técnica dos elementos finitos Vollmer et al.^[54] estimaram o Cres do canino a 42% do comprimento radicular. Para um incisivo central com 13 mm de raiz, Tanne et al.^[55] calcularam através da mesma técnica o Cres a 24% do comprimento. Num estudo posterior Tanne et al.^[56] para um mesmo comprimento radicular, mas diferentes propriedades mecânicas (quociente de Poisson do dente e osso alveolar reduzidos a metade) situaram o Cres a 34%.

Alguns estudos defendem que existem várias razões para a colocação do Cres em diferentes posições. Comparando uma parábola bidimensional e uma parabólica tridimensional, os respetivos centros geométricos (centróide) localizam-se respetivamente a 40% e 33% do comprimento total; consequentemente o modelo bidimensional tende a colocar o Cres mais apical.

O valor mais coronal, apresentado pela técnica dos elementos finitos, explica-se pelo facto da forma radicular e o contorno alveolar se aproximarem mais da realidade.^[55]

Segundo a revisão bibliográfica realizada por Papageorgiou^[52], o Cres para um dente monoradicular localiza-se entre 33 e 42% do comprimento radicular, medido da crista alveolar, enquanto o Cres para dentes multi-radulares situa-se na zona da furca.

1.2.3.2. Localização do centro de resistência para um grupo de dentes

Segundo Dermaut e Vanden Bulcke^[57], o Cres para os quatro incisivos situa-se por distal dos incisivos laterais, enquanto o Cres dos seis dentes anteriores localiza-se distalmente aos caninos.

Baseados num modelo teórico Melsen et al.^[58], deduziram que o Cres dos seis dentes anteriores situa-se na meia distância entre o Cres dos quatro incisivos e o Cres dos caninos. O Cres dos seis dentes está a 0,72 mm distalmente ao *bracket* do canino.

Segundo Pederson et al.^[59], em termos verticais no caso dos incisivos centrais e dos seis dentes anteriores, o Cres praticamente coincide localizando-se 6,5 mm apical ao *bracket* dos incisivos centrais (*bracket* colado a 4 mm do bordo incisal). Relativamente aos quatro incisivos a localização é mais incisal, 5 mm apical ao *bracket* dos incisivos centrais. No plano oclusal, o Cres para os dois incisivos centrais e quatro incisivos localizam-se aproximadamente 13 mm posterior ao *bracket* dos incisivos centrais numa linha em média 3 mm anterior à superfície distal do canino. O Cres dos seis dentes anteriores posiciona-se 6 mm posterior ao do bloco incisivo.

Segundo Yoshida et al.^[60], o Cres dos dois ou quatro incisivos é mais ou menos coincidente, localizando-se 4,3 mm apical ao osso palatino. O Cres dos seis dentes anteriores situa-se 0,8 mm mais incisal que o bloco incisivo. Os autores compararam os seus valores com os de Vanden Bulcke e de Pedersen, concluindo que, durante a retração o Cres dos incisivos centrais localiza-se entre 10,3 e 11,1 mm do bordo incisal, para o bloco incisivo o valor situa-se entre 8,1 e 12,3mm e para os seis dentes anteriores o valor encontrado varia entre 10,5 e 13,7mm.

Com o recurso a um modelo experimental Choy et al.^[61] localizaram o Cres para os seis dentes anteriores, 14,5 mm apical e 9,5 mm distal do bordo incisal dos incisivos centrais.

Assim a localização precisa do Cres varia em função da morfologia dentária, do número de dentes, da qualidade e quantidade do osso circundante, da inclinação axial do dente e do método de cálculo.^[51, 62]

1.2.4. Efeitos da força

Se a linha de ação da força passa pelo centro de resistência do dente, este responde com um movimento de translação na direção da força.

Se a linha de ação da força não passa pelo Cres, a força resultará sempre com algum movimento de rotação no corpo.^[8, 63] O potencial para rotação é mensurado como um momento. O seu valor é igual à intensidade da força multiplicada pela distância

perpendicular entre a sua linha de ação e o Cres do dente. Considerado uma grandeza vetorial, o momento expressa-se em Newton-metro (Nm) no Sistema Internacional de Unidades (SI), ou em unidades equivalentes: grama-milímetro (gmm). O sentido do momento é determinado pela continuação da força em torno do Cres, classificando-se como horário ou anti-horário (Fig. 5).

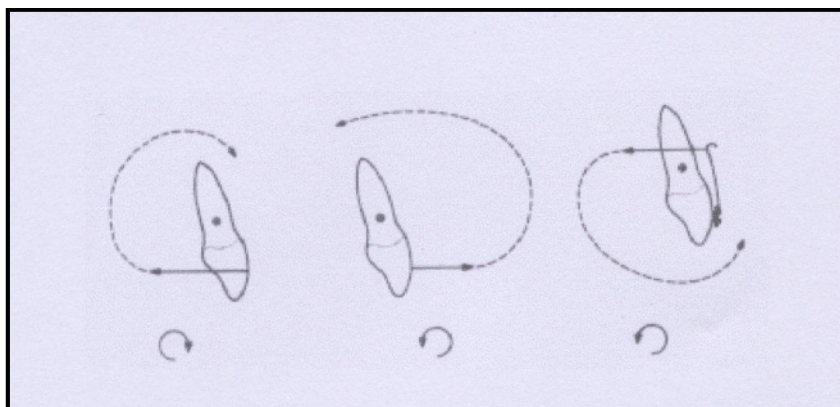


Figura 5. Exemplos da determinação do sentido do momento da força (adaptado de Smith et al.[8])

O momento de uma força, ou da resultante das forças aplicada a um corpo denomina-se o momento da força. O Cres é deslocado na mesma direção da linha de ação da força.

O movimento de rotação pura num dente não se consegue induzir com uma força única. O sistema de forças mais simples capaz de produzir tal movimento é um binário. Um binário caracteriza-se por duas forças de igual intensidade, paralelas com linhas de ação não colineares e sentidos opostos. O momento do binário é igual à intensidade de uma das forças multiplicada pela distância perpendicular entre elas. Um binário não movimenta o Cres, ou seja, nesta condição o centro de rotação e Cres são sempre coincidentes.

É importante fazer a distinção entre o momento da força e o momento do binário. O momento da força é sempre relativo a um ponto de aplicação da força (distância ao Cres), enquanto o momento do binário não tem relação com nenhum ponto.

1.2.5. Centro de rotação

O centro de rotação (Crot) é definido como um ponto à volta do qual o dente rodou, desde a sua posição inicial até à final.

O Crot pode localizar-se em qualquer posição relativamente ao dente (ao longo do seu eixo). Embora o Crot possa ser construído para qualquer posição inicial e final, isto não significa que tal ponto tenha atuado como Crot durante todo o movimento. O dente pode ter alcançado determinada posição, com um movimento irregular, pelo que as alterações de Crot parecem ser mais a regra do que a exceção quando se trata de movimento dentário.^[8]

Conceptualmente, o Cres deve ser mantido separado do Crot. Enquanto um é intrínseco (Cres), o outro é produzido (Crot). O Crot está dependente e resulta do sistema de forças aplicado. A sua posição relativamente ao Cres determina o tipo de movimento.

Tanne et al.^[55], num estudo utilizando o método dos elementos finitos, apresentaram graficamente a variação da localização do Crot em função do ponto de aplicação da força.

Como já se referiu, a força ortodôntica ótima está condicionada pelo limite máximo de compressão suportado pelos capilares do ligamento periodontal (1,56 g/mm²). Como a força ortodôntica ótima varia em função da localização do Crot, é numa situação de movimento de translação ou próximo deste que a força ortodôntica ótima atinge o seu valor máximo pois a distribuição da tensão é mais uniforme ao longo do ligamento.

1.2.6. Tipo de movimento

Os tipos de movimentos dentários são classificados, habitualmente, pela identificação dos seus centros de rotação.^[51, 64]

Inclinação não controlada

O dente descreve um movimento que ocorre em torno de um Crot apical e muito próximo ao seu Cres. Acontece quando uma única força é exercida sobre a coroa; isto é, a coroa movimenta-se numa direção, enquanto a raiz o faz na direção oposta (Fig. 6). É o tipo de movimento que facilmente se obtém com os aparelhos removíveis.

Inclinação controlada ou versão coronária

O dente roda em torno de um Crot no ápice radicular, o dente inclina num único sentido, com amplitude de movimento crescente na direção coronal (Fig. 6).

Inclinação radicular ou versão radicular

Movimento com o Crot localizado no extremo mais oclusal ou incisal do dente. Verifica-se grande deslocamento radicular do dente e pouco deslocamento coronal (Fig. 6).

Translação

A translação de um dente ocorre quando o Crot se localiza no infinito. Neste caso verifica-se movimento dentário em corpo (Fig. 6).

Rotação pura

Ocorre quando o Crot e Cres coincidem. O movimento é feito sobre eles.

Intrusão ou extrusão

O movimento ocorre na direção do longo eixo do dente, o Crot está no infinito. Este é um movimento de translação axial.

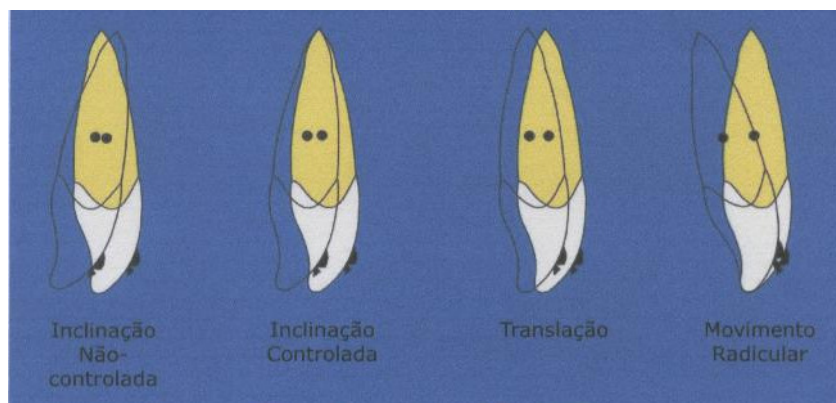


Figura 6. Tipos de movimento (adaptado de Sakima [64])

1.2.7. Sistema de forças

Um sistema de forças pode ser representado vectorialmente no ponto de aplicação ou por um sistema equivalente no Cres. Dois sistemas de forças são ditos equivalentes quando provocam os mesmos efeitos sobre o dente (Fig. 7).

Existem três condições para dois sistemas de força serem equivalentes:

- 1- o somatório das forças no eixo x ser idêntico;
- 2- o somatório das forças no eixo y ser idêntico;
- 3- o somatório dos momentos em qualquer ponto ser idêntico.

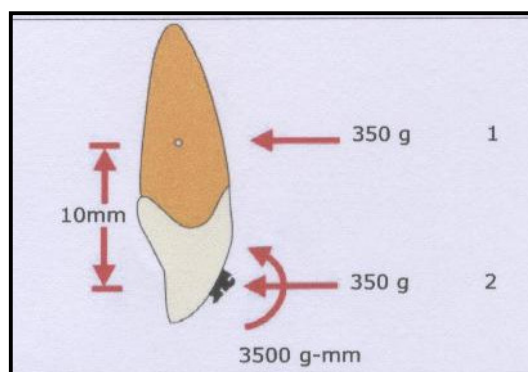


Figura 7. Sistemas equivalentes de força (adaptado de Sakima [64]).

O estudo da mecânica envolvida na movimentação de dois dentes pelo uso de dispositivos mecânicos pode ser dividida em dois tipos ^[64-66]

1. sistema estatisticamente determinado;
2. sistema estatisticamente indeterminado.

1- O sistema estatisticamente determinado, consiste da aplicação de um binário – sistema de um binário - no *bracket* de um único dente, estabelecendo um sistema de forças em que é possível a previsão dos seus efeitos. Está presente no uso de dispositivos em que uma das extremidades é inserida no sulco do *bracket*, e a outra extremidade age em apenas um

ponto de aplicação da força. O sistema não altera nem o sentido das forças nem os momentos, sob desativação, apenas a intensidade dos mesmos. Podem facilmente ser desenhados e calculados sistemas de um binário aplicando as leis básicas de equilíbrio (Fig. 8).

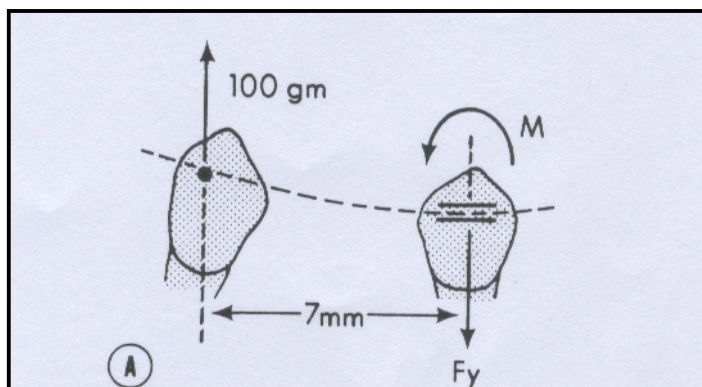


Figura 8. Sistema um binário (adaptado de Burstone e Koenig [67]).

2- O sistema de forças estatisticamente indeterminado, verifica-se quando se utilizam dispositivos inseridos nos sulcos dos *brackets* nas suas duas extremidades – sistema dois binários (Fig. 9). O cálculo do sistema de forças é complexo, e durante a desativação do aparelho podem ocorrer mudanças na intensidade e sentido das forças e momentos.

As forças e momentos, produzidas por um segmento de arame inserido em dois *brackets*, foram pela primeira vez descritos por Burstone e Koenig^[67] em 1974. Para tal, utilizaram um programa informático baseado na teoria das pequenas deflexões. Uma das principais conclusões do trabalho foi a de que a intensidade relativa de momentos (a razão M_A/M_B) depende exclusivamente da razão da angulação de cada *bracket* (θ_A/θ_B) no eixo inter-*bracket* (Fig. 9).

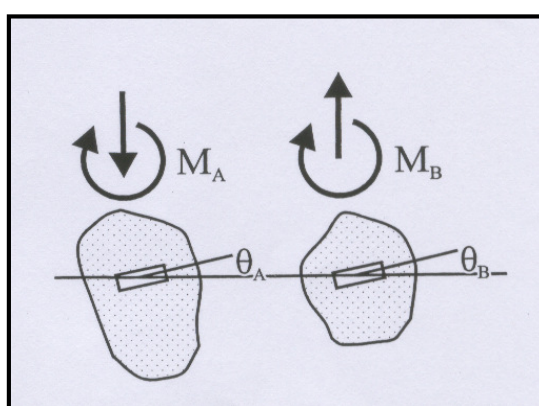


Figura 9. Sistema de forças em função da angulação θ do respetivo bracket relativamente ao eixo inter-bracket (adaptado de Halazonetis [68]).

Esta conclusão permite a determinação da intensidade e direção relativa da força e momento para qualquer segmento entre dois *brackets*, caracterizando a angulação entre os mesmos. Para um segmento de dois dentes, a razão θ_A/θ_B (por convenção $\theta_A < \theta_B$) pode

assumir valores num intervalo de -1 a 1. Aos valores θ_A/θ_B : 1.0, 0.5, 0.0, -0.5, -0.75, -1, correspondem determinadas configurações dentárias que os autores denominaram de geometrias de Classe I, II, III, IV, V, VI respetivamente. Os valores absolutos para as respetivas forças e momentos implicam o conhecimento da distância inter-*bracket* e propriedades do arame utilizado.

O sistema de forças desenvolvido por um arco ideal (geometrias de Burstone) não pode ser utilizado diretamente para calcular o movimento dentário, pois o sistema de forças equivalente no Cres pode diferir significativamente do sistema de forças no *bracket* (Fig. 10).^[68, 69]

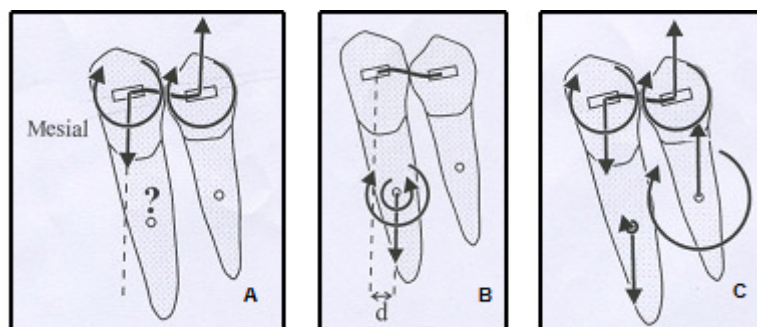


Figura 10. Cálculo do sistema de forças equivalente no Cres.

A, Geometria de Classe I. **B**, Cálculo do sistema de forças equivalente no Cres. **C**, Sistema de forças no *bracket* e no Cres. (adaptado de Halazonetis⁶⁵)

Fatores como a distância inter-*bracket* curta, angulação acentuada, dimensão radicular aumentada e perda de suporte ósseo, acentuam a diferença.^[68]

O sistema de forças gerado por dobras em V, ou em degrau num fio entre dois *brackets* coplanares e alinhados, foi documentado por Burstone e Koenig^[70] em 1988.

Uma dobra em V, posicionada simetricamente, gera binários iguais com sentidos opostos (Fig. 11A). Uma dobra assimetricamente posicionada, resulta em várias combinações de momentos e forças. Deslocando a dobra, verifica-se um aumento do momento no *bracket* mais próximo da mesma e uma diminuição no *bracket* mais distante (Fig. 11B). Para se verificar a condição de equilíbrio, a soma dos momentos tem de ser zero, o que implica a existência de forças verticais. Quando a dobra se localiza a um terço da distância inter-*bracket*, só se gera momento no *bracket* próximo à dobra (Fig. 11C). Se a localização da dobra ao *bracket* mais próximo é menor que um terço da distância inter-*bracket*, o sistema de forças resulta em momentos em ambos os *brackets* com o mesmo sentido, sendo maior o mais próximo à dobra (Fig. 11 D). A dobra em degrau gera momentos iguais em intensidade e sentido (Fig. 11E).

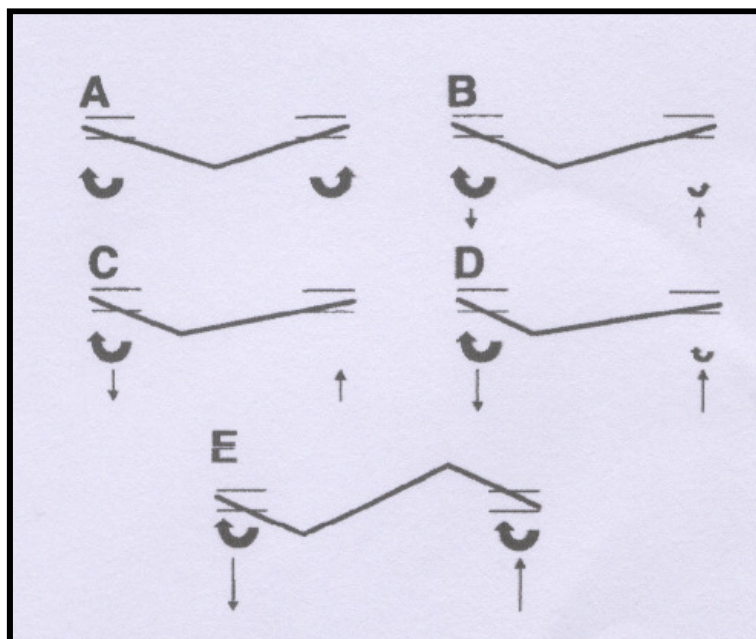


Figura 11. Sistema de forças no bracket em função das dobras (adaptado de Lindauer [66])

1.2.8. Proporção M/F

Normalmente na ativação de um aparelho a linha de ação da força interseja o *bracket*. Assim, se a distância entre este e o Cres é igual a d , desenvolve-se um momento da força ($M = F \times d$). Quando se pretende um movimento de translação, a mola utilizada no fecho do espaço deverá gerar um binário com uma intensidade igual e oposta à do momento da força. A proporção M/F de uma mola de fecho de espaço para um movimento de translação deve ser igual a d , equivalente à distância entre o *bracket* e o Cres. ^[71]

Fortin ^[72], estudou a relação entre a proporção M/F e o movimento radicular ou de translação, em experiências com animais. Caputo et al. ^[23] e Baeten ^[26], através da técnica foto-elástica, relacionaram a combinação entre diferentes ângulos de pré-ativação de molas com a intensidade da força, no desenvolvimento da proporção M/F necessária para movimento em corpo. Estes estudos, evidenciaram a necessidade de controlo da força e binário no desenvolvimento de determinado Crot, mas não quantificaram a proporção M/F necessária.

Burstone e Pryputniewicz ^[26], com recurso a um modelo experimental e holografia laser, aplicaram uma mesma força variando os pontos de aplicação (no sentido ocluso-apical) para determinação dos vários Crot produzidos. Qualquer uma das forças podia ser substituída por um sistema de forças equivalente (força e momento) no *bracket*. Os dados do estudo foram apresentados como função da proporção M/F no *bracket*, pelo seu significado clínico.

Smith e Burstone ^[7], ilustraram graficamente (Fig.12) de acordo com os resultados aproximados de Burstone e Pryputniewicz ^[26], a relação entre proporção M/F no *bracket* e a distância do Crot ao Cres. No modelo em causa a distância entre o Cres e o bracket foi de 10 mm.

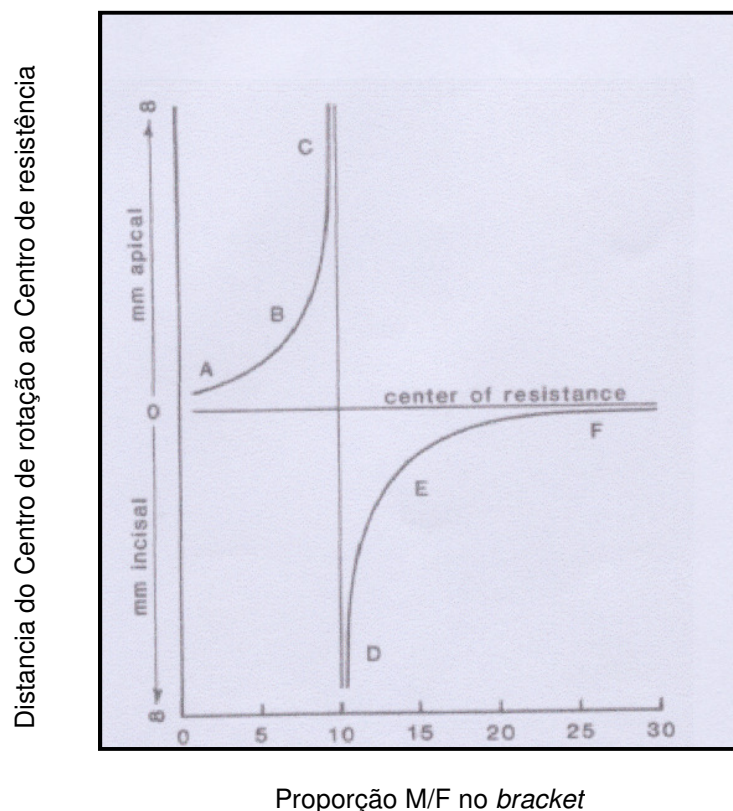


Figura 12. Gráfico da proporção M/F no bracket e a distância do Crot. ao Cres. (adaptado de Smith e Burstone [9])

Quando uma força única é aplicada no *bracket* ($M/F = 0$), o Crot desloca-se ligeiramente para apical do Cres (ponto A, Fig. 12). O movimento resultante é a inclinação descontrolada.

Com o aumento do binário (o momento do binário se opõe ao efeito do momento da força), o Crot move-se mais para apical (ponto B, Fig. 12). O movimento resultante é a inclinação controlada.

Quando a proporção M/F se aproxima 10/1, o Crot tende para o infinito, o que resulta num movimento de translação (ponto C, Fig. 12)

Quando a proporção M/F ultrapassa 10/1, o momento no Cres altera a direção, o momento do binário é maior que o da força. O Crot torna-se incisal ao Cres, e tende para o infinito (ponto D, Fig. 12). Quando a proporção M/F oscila entre 12 e 13, o Crot localiza-se no bordo incisal (ponto E, movimento de raiz). No caso da proporção M/F ultrapassar 20, o Crot está incisal mas muito próximo do Cres (ponto F, Fig. 12), aproximando-se do movimento de rotação pura.

A proporção M/F pode ser definida em qualquer ponto arbitrário do dente ou fora dele, porém, a proporção M/F no *bracket* apresenta maior significado clínico. Com as leis da equivalência torna-se fácil calcular a proporção M/F para outro ponto de aplicação.

Provavelmente o fator mais significativo, relativamente ao sistema de forças gerado pelas molas de fechamento de espaço e o movimento dentário, é a proporção M/F. Para uma mesma magnitude de força, os movimentos de inclinação, translação e movimento de raiz podem ser realizados através da incorporação de um momento apropriado, associado à

aplicação da força. Portanto, é a proporção entre o momento gerado e a força aplicada que determina o tipo de movimento dentário, e não as suas magnitudes absolutas. ^[41]

Baseado nas dimensões médias dos dentes e inclinações do plano oclusal, Siatkowski ^[73] calculou os valores da distância *bracket* – centro de resistência e proporção M/F para o movimento de translação no caso de um dente ou grupo de dentes. Os valores relativos à proporção M/F variaram entre os 7,1 a 10,2 mm para dentes únicos e os 8,0 a 9,1 mm para grupo de dentes.

1.3. Características das molas

O ponto de partida para o desenho de qualquer aparelho ortodôntico é a concordância com determinadas premissas sobre a natureza de um sistema de forças ótimas para o movimento dentário. ^[3]

Um sistema de forças ótimo será aquele que:

- controla o Crot durante o movimento;
- produz níveis de força ótimos para o ligamento periodontal;
- mantém níveis de força e momento relativamente constante durante o movimento.

Burstone et al. ^[6, 74], consideraram três características essenciais no desenho e utilização de molas em ortodontia.

- proporção C/D;
- proporção M/F;
- carga máxima (sem provocar deformação permanente).

1.3.1. Fatores de influência

No desenho de uma mola são vários os fatores que influenciam as suas características mecânicas. ^[3, 35, 44, 65, 74, 75]

1.3.1.1. Propriedades mecânicas dos materiais

1.3.1.1.1. Módulo de elasticidade

O Módulo de elasticidade, ou módulo de Young, (E) pode ser definido como a resistência à deformação permanente. É proporcional à rigidez do material e pode ser determinado pelas forças de ligação entre os átomos. Uma vez que estas forças são constantes para cada material, a rigidez é, também ela, uma propriedade constante para cada metal. Na ortodontia, representa a força necessária curvar ou dobrar um fio. Fios com baixa rigidez são preferíveis, uma vez que permitem a aplicação de forças mais leves e mais constantes durante a descativação do arco. ^[1, 4]

O comportamento elástico de qualquer material é definido em termos da resposta tensão-deformação a uma carga externa. Tanto a tensão como a deformação se referem a um estado interno do material. A tensão é a distribuição interna de carga, definida como força

por unidade de área. Por sua vez, deformação é a distorção interna produzida pela carga, definida como deflexão por unidade de comprimento.

A relação entre determinada força e a deflexão verificada é definida pela Lei de Hooke segundo a qual, dentro do limite de elasticidade, a deflexão é proporcional à carga, isto é, o quociente da força pela deflexão é uma constante. Esta constante é a proporção C/D e tem por unidades g/mm. Em determinadas situações a proporção C/D pode variar para determinada mola, particularmente quando se verificam grandes deflexões. Tal não é uma contradição à Lei de Hooke mas, reflete as alterações na configuração geométrica da mola durante a carga.

A razão tensão/deformação denomina-se módulo de elasticidade (E). O módulo de elasticidade expressa a rigidez de um material e é a propriedade que determina a taxa de C/D de um aparelho ortodôntico.

A proporção C/D é diretamente proporcional ao módulo de elasticidade (E).

$$C/D = KE$$

1.3.1.1.2. Limite elástico

O limite de elasticidade (σ_e) está relacionado com a tensão máxima que o material consegue suportar, sem que sofra deformação plástica permanente e não mais consiga voltar à sua forma e dimensões originais. Materiais com elevado limite elástico, e com baixa rigidez, são preferíveis.^[76]

1.3.1.1.3. Efeito de memória de forma

Muitos materiais ficam permanentemente deformados se o seu limite elástico for excedido. No entanto, após aparente deformação, alguns materiais retornam à sua forma original quando aquecidos. Este efeito é o chamado efeito de memória de forma. Quando os materiais retornam à sua forma original (depois de terem alcançado o seu ponto de deformação), as forças acumuladas nos fios foram dispersas de uma forma constante durante um grande período de tempo, o que é essencial para assegurar o movimento dos dentes.^[76]

1.3.1.1.4. Superelasticidade ou pseudoelasticidade.

A pseudoelasticidade refere-se a grandes deformações plásticas resultantes da aplicação de forças, e à completa recuperação da forma após o descarregamento dessas forças, sem haver variações de temperatura no processo. Alguns fios sofrem, a uma temperatura constante, uma transformação de fase de austenítica para martensítica, como resultado do aumento das forças aplicadas. No entanto, à medida que as forças são removidas, a transformação de fase reversa ocorre. A este efeito dá-se o nome de pseudo-elasticidade (ou superelasticidade).^[77]

1.3.1.1.5. Resiliência

A resiliência pode ser definida como a capacidade de um metal armazenar energia, quando deformado elasticamente, e libertá-la quando descarregado. Representa o trabalho disponível no material para mover os dentes durante a desativação. Uma alta energia acumulada com baixa carga é o desejável, já que a energia resultante permitirá que a força gerada, durante a liberação da energia elástica armazenada, seja contínua por um período de tempo muito mais longo. Esta propriedade informa a quantidade e energia que um material pode armazenar quando submetido a esforços até o limite de proporcionalidade.^[78]

1.3.1.1.6. Formabilidade, soldabilidade e fricção

A soldabilidade relaciona-se com a possibilidade/capacidade do fio ser soldado a outros materiais. A formabilidade de um fio diz respeito à sua capacidade de ser dobrado e moldado nas diferentes formas desejadas.^[76, 77, 79] A fricção refere-se à resistência do material aquando o deslizamento sobre outro material e, na ortodontia, corresponde à qualidade do deslizamento entre o fio e os acessórios ortodônticos.^[78]

1.3.1.2. Secção transversal do arame

A variação na proporção C/D, carga máxima e amplitude máxima que ocorrem pela alteração do calibre de um arame não são proporcionais à mudança de dimensão ou área seccional. As variações são função da distribuição do material em torno do eixo neutro (Tabela 1).

	Carga/deflexão	Carga máxima	Amplitude de ativação
Fio Redondo	d^4	d^3	$1/d$
Fio retangular	bh^3	bh^2	$1/h$

Tabela 1. Variação da proporção C/D, carga e amplitude máxima relativamente à secção do arame. d- diâmetro h- altura b- largura (adaptado de Burstone et al. ^[74])

1.3.1.3. Tipo de arame

Como consequência das necessidades clínicas intrínsecas ao tratamento ortodôntico, as diferentes ligas que compõem os fios ortodônticos têm vindo a evoluir ao longo do tempo. Com o objetivo de melhor o orientar na escolha do melhor fio ortodôntico para cada uma das fases do tratamento ortodôntico, o ortodontista deve possuir um vasto conhecimento das várias ligas metálicas acessíveis e das suas propriedades.

a) – Aço inoxidável (FeCrNi)

Até 1930s, os fios ortodônticos disponíveis eram feitos de ouro. O aço inoxidável austenítico foi introduzido como fio ortodôntico em 1920 e, devido à sua força superior, elevado módulo de elasticidade, boa resistência à corrosão e custo moderado. O aço inoxidável (aço) rapidamente ganhou aceitação e preferência sobre o ouro.[78] O tipo mais comum de aço inoxidável utilizado em ortodontia é o tipo 304, de acordo com o Instituto Americano de Ferro e Aço (American Institute of Steel and Iron, AISI) com aproximadamente 18-20% de cromo, e 8-10% de Níquel.[79, 80] Os fios de aço inoxidável apresentam boa compatibilidade, boa resistência à corrosão, excelente formabilidade e alto rendimento de força e elevado módulo de elasticidade.[78, 81]

b)- Liga de Cobalto-Crômio (CoCr)

Esta liga de cobalto (40%), cromo (20%), prata (16%) e níquel (15%) foi inicialmente desenvolvida em 1940s para o fabrico de molas de relógio e encontrou o seu lugar na ortodontia em 1960s. Exceção feita à sua grande resistência à fadiga e distorção, as propriedades mecânicas dos fios de cobalto-cromo são muito semelhantes às propriedades mecânicas dos fios de aço inoxidável.

c) – Ligas de níquel-titânio (NiTi)

As ligas de níquel-titânio começaram a ser utilizadas clinicamente em 1972. Eram produzidas com o nome comercial de Nitinol® com uma composição de 55% de níquel e 45% de titânio. O tratamento térmico destas ligas muda o seu arranjo cristalográfico, produzindo o denominado “efeito de memória”. Este fenómeno resulta de uma mudança de fase cristalina conhecida como “transformação martensítica termoelástica” e descreve o efeito de restaurar a forma inicial de um fio deformado pelo seu aquecimento acima da sua temperatura de transição.^[82, 83] Esta transformação da forma deformada para a sua forma original, envolve a transição do nitinol da fase martensítica para a fase austenítica. No entanto, estas ligas apresentam uma pobre formabilidade, o que é uma desvantagem.^[78]

d) – Ligas de Cobre-níquel-titânio (CuNiTi)

As ligas de cobre-níquel-titânio consistem, como o próprio nome indica, em cobre, níquel e titânio, e também de algum cromo. Estes fios ficaram disponíveis no mercado em meados de 1990s. A adição de cobre à liga de níquel e titânio aumenta a propriedade termo – reativa do fio e torna-o extremamente resistente a deformação permanente.^[76]

e) – Ligas de Beta-titânio (β -Ti; TMA)

As ligas metálicas de titânio-molibdênio tiveram origem nos anos 60, quando a indústria metalúrgica conseguiu através da adição de Molibdênio, Zircônio, Estanho e outros, estabilizar a estrutura cristalina de Titânio em forma de cubo de base centrada. Estas ligas apresentam a chamada forma alotrópica “ β ” do titânio. Isto confere-lhes boa formabilidade (capacidade de sofrer deformação) mesmo após trabalho a frio e estabilidade à temperatura ambiente devido à presença de elementos como molibdênio, tântalo, zircônio, estanho,

vanádio, ferro, cobalto e níquel incorporados ao titânio. Por esse motivo, as ligas de titânio-molibdênio são também conhecidas como β -titânio.

Em 1979, Goldberg e Burstone^[81] apresentaram, pela primeira vez, uma liga de beta-titânio para uso ortodôntico. Esta liga está disponível comercialmente como “TMA” (“titanium-molybdenum alloy” – liga de titânio-molibdênio). As ligas de beta-titânio tem um excelente balanço das propriedades adequadas a diversas aplicações ortodônticas, como boa resistência à corrosão, baixo potencial de hipersensibilidade, baixa rigidez, excelente formabilidade e boa soldabilidade, mesmo comparadas com as ligas de aço inoxidável e de cobalto-crómio-níquel.^[79, 81, 84-86] O módulo de elasticidade dos fios de ligas de beta-titânio é aproximadamente o dobro dos fios de nitinol e menos de metade do módulo de elasticidade dos fios de aço inoxidável, tornando os fios de beta-titânio ideais para aplicações onde é necessária força inferior à do aço, mas onde um material como o nitinol seria insuficiente para produzir a magnitude de força desejada.^[78] Estas propriedades permitem um desenho simplificado dos arcos, que conseguem ainda assim libertar forças, sem a necessidade da adição de alças e hélices.

Até à introdução destes novos tipos de arames, o alinhamento e o nivelamento, durante o tratamento ortodôntico, dependiam apenas da alternância de arcos de aço progressivamente mais rígidos. Iniciava-se utilizando arames redondos finos até se atingir os retangulares de máxima dimensão. Como o controlo da rigidez dos arames dependia principalmente da secção transversal destes, Burstone^[87] designou este princípio como “ortodontia de secção variável”.

Com as novas ligas metálicas, tornou-se possível a modificação e o controlo da rigidez dos arames através da variação das propriedades exibidas, nomeadamente o módulo de elasticidade (proporção C/D) - “ortodontia de módulo variável”. Através da comparação de diversos tipos de arames em relação ao aço, Burstone^[87] registou que os de beta-titânio produziam apenas 40% de intensidade de força, os de níquel-titânio 26%, e os trançados abaixo de 20%. Para os arames de cromo-cobalto, as diferenças eram pouco significativas. Ingram et al.^[88] e Odegaard et al.^[89] verificaram que mesmo para igual tipo de arame (liga e secção) foram registadas variações nas suas propriedades, entre diferentes fabricantes.

1.3.1.4. Distância inter-bracket

O aumento da distância inter-*bracket*:

- diminui a proporção C/D;
- permite maior amplitude de ativação.

1.3.1.5. Quantidade de arame

O comprimento adicional de arame pode obter-se com a incorporação de molas, helicoides ou outro tipo de configuração. Com estes procedimentos diminui a proporção C/D e a carga elástica máxima pode ou não ser afetada.

1.3.1.6. Direção da carga

As propriedades de elasticidade não dependem apenas da localização e intensidade da carga mas também da direção da mesma. A carga elástica máxima de uma mola não é igual em todas as direções. Ela será maior quando na sua confecção são aplicadas direção de flexão e torção idênticas. O fenómeno responsável por esta diferença é denominado efeito Bauschinger.

1.3.2. Geometria da mola: força, proporção C/D e proporção M/F

O sistema de forças desenvolvido por uma mola dependerá da conformação mecânica dada à mola – geometria. Burstone et al.^[5], Faulkner et al.^[90] e Siatkowski^[91, 92], demonstraram a influência do desenho de uma mola sobre a proporção M/F e a proporção C/D. As principais conclusões foram:

- dimensão vertical da mola: o seu aumento resultou num acréscimo da proporção M/F. Molas mais altas desenvolveram momentos maiores e forças menores;
- comprimento horizontal (distância inter-bracket): com seu aumento a proporção M/F diminuiu;
- dimensão gengival ou apical: o aumento da quantidade de arame, colocado em apical da mola, resultou num aumento da razão M/F;
- posicionamento da mola: uma colocação equidistante aos dois brackets resultou numa proporção M/F idêntica nas duas extremidades. A não centralização provocou desenvolvimento de momentos diferentes;
- adição de hélices: diminuiu a proporção carga deflexão, mas não teve influência significativa na proporção M/F;
- angulação das hastes (pré-ativação): aumenta a proporção M/F.

Raboud et al.^[93], através do método de elementos finitos, além de confirmarem os resultados dos estudos de Burstone et al.^[5] e Faulkner et al.^[90], determinaram o sistema de forças desenvolvido com a adição de pré-ativações no plano oclusal (dobras de anti-rotação). Verificaram que os efeitos no plano oclusal foram relativamente independentes aos do plano sagital. A proporção C/D não foi praticamente afetada pelas dobras anti-rotação, e a proporção M/F do plano sagital sofreu um aumento significativo somente em pequenas ativações.

Katona et al.^[94], confirmaram através de um estudo experimental, com molas triangulares, que as dobras de pré-ativação de primeira ordem (anti-rotação) e as dobras de segunda ordem (no plano sagital), produziam os efeitos desejados não interferindo nos respectivos valores da proporção M/F.

A partir destes resultados foi desenvolvida a mola em T. Posteriormente, outros autores ^[51, 95-107] sugeriram modificações na geometria da mola em T, ou criação de novas geometrias no intuito de otimizar as suas propriedades físicas e biomecânicas.

1.4. Corrosão e Ortodontia

Na cavidade oral, os metais que constituem os aparelhos ortodônticos estão sujeitos a uma série de danos de origem mecânica ou consequentes de processos de corrosão, que podem levar ao dano do aparelho. Mais ainda, os produtos dos processos de corrosão podem causar sérias lesões nos tecidos da cavidade bucal. Assim, para um tratamento ortodôntico eficiente, torna-se indispensável não só o conhecimento das propriedades dos metais utilizados na ortodontia, como também a avaliação dos seus potenciais efeitos nefastos.

1.4.1. Biocompatibilidade dos fios ortodônticos

A biocompatibilidade dos fios ortodônticos ocorre quando ao entrarem em contacto com os fios, os tecidos orais não apresentam nenhum tipo de reação tóxica, irritante, inflamatória, alérgica ou de fundo mutagénico ou carcinogénico.^{[108] [109]}

O níquel é um dos mais comuns metais utilizados nos fios ortodônticos, uma vez que está incluído, entre outros, nos fios de aço inoxidável e de níquel-titânio. No entanto, o níquel é o metal mais comum a causar dermatite de contacto e o que induz maiores casos de reações alérgicas. Alguns artigos publicados sugerem que uma concentração de aproximadamente 30 mg/L de níquel pode ser suficiente para promover de imediato uma resposta citotóxica.^[110-112]

Mais ainda, alguns complexos de níquel têm sido considerados como carcinogénicos, alergénicos e mutagénicos.^[111] As ligas de níquel-titânio podem ter um conteúdo de mais do que 50% de níquel e, consequentemente, libertar uma quantidade de iões de níquel suficiente para causar reações alérgicas.^[112] Adicionalmente, tem havido relatos de pacientes não sensíveis ao níquel que se tornam sensíveis ao níquel depois de utilizarem fios de níquel-titânio.^[113] O aço inoxidável tem um conteúdo de 8%^[112], mas a sua rede cristalina liga-se aos iões de níquel, tornando-os indisponíveis para reagir.^[110] Assim, fios desta liga metálica com baixo conteúdo de níquel são pouco prováveis a original hipersensibilidade ao níquel, sendo tolerados por pacientes sensíveis ao níquel. Para além do níquel, é sabido que o crómio também causa efeitos biológicos adversos como hipersensibilidade, dermatites e asma, para além de se suspeitar que o crómio possa ser genotóxico.^[114]

Segundo Kwon e col.^[115] o Molibedénio presente na liga TMA, se presente em excesso pode alterar o metabolismo celular.

1.4.2. Corrosão dos fios ortodônticos

Devido às suas propriedades iónicas, térmicas, microbiológicas e enzimáticas, o ambiente oral é favorável à biodegradação dos fios metálicos, com consequente libertação de iões para na cavidade oral.^[116]

O processo mais significativo da degradação dos metais é a corrosão. De acordo com a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), o processo de corrosão pode ser definido como um conjunto de reações, química ou eletroquímica, entre um material,

(normalmente um metal) e o seu ambiente, o que produz uma deterioração no material e nas suas propriedades. As condições orais como a temperatura, a quantidade e acidez da saliva, a presença de certas enzimas e as propriedades físico-químicas dos alimentos sólido e líquidos, influenciam os processos de corrosão.

Juntamente com a libertação de elementos dos metais e das ligas, a corrosão de fios ortodônticos pode alterar a força aplicada aos dentes, levar ao aumento da rugosidade da superfície dos fios e levar ao enfraquecimento, à falha mecânica ou mesmo à fratura.

A rugosidade e irregularidade da superfície de arcos estão correlacionadas positivamente com sua corrosão^[117-120]. Widu e col.^[121] demonstraram que a rugosidade da superfície pode servir como um indicador da tendência corrosiva dos fios ortodônticos. Oshida e col.^[122] relataram que os defeitos introduzidos durante o processo de fabricação de fios ortodônticos são áreas suscetíveis a corrosão. No entanto outros autores^[113, 123, 124] não encontram uma relação entre a rugosidade e a corrosão.

Para resistir ao processo de corrosão, os arames das ligas de aço inoxidável, cobalto-crómio e as ligas de titânio dependem da formação de um filme passivo de óxido à sua superfície. Mas mesmo com esta proteção, alguns fios ainda podem ser libertados^[113], não só porque esta camada protetora é suscetível a ruptura mecânica e química, mas também porque o filme de óxido pode reagir e ou dissolver-se na exposição ao ambiente circundante. As condições ácidas do meio oral e produtos dentífricos contendo flúor podem contribuir para estes processos.^[125] A corrosão e deterioração de alguns materiais ortodônticos relacionados com o ambiente ácido da cavidade bucal e com a presença de íons fluoreto em vários dentífricos, géis e elixires tem sido objeto de alguns estudos.^[126-135]

1.4.3. Tipos de corrosão

Podem ocorrer na cavidade oral diferentes formas de corrosão. Tal como reportado por Eliades e Athanasiou^[136], as formas de corrosão podem ser classificadas de acordo com a aparência ou modo de ataque (corrosão uniforme, por pite ou por crêvice, por exemplo) e de acordo com as suas diferentes causas e mecanismos (corrosão galvânica ou biocorrosão, por exemplo).

1.4.3.1. Corrosão uniforme

Sendo o tipo de corrosão mais comum, a corrosão uniforme ocorre com todos os metais ainda que a velocidades diferentes. Ocorre de forma homogênea em toda a superfície e pode não ser detetada até que uma grande quantidade do metal seja dissolvido. Este tipo de corrosão tem origem na interação do metal com o ambiente e com a subsequente formação de hidróxidos e compostos organometálicos.

1.4.3.2. Corrosão puntiforme ou por pite

A corrosão por pite é localizada em pequenas áreas na superfície metálica resultando em pequenos buracos (ou pites) na superfície do metal. Embora afete pequenas partes da superfície metálica, este tipo de corrosão é muito perigosa, pois pode causar perda localizada da espessura do metal, originando pontos de concentração de tensões e podendo levar à fratura do fio.

1.4.3.3. Corrosão por fissuras ou crêvice

Este ataque ocorre em locais expostos a ambientes corrosivos, está associado a uma fenda, e acontece nela ou em torno dela. A corrosão por crêvice tem origem na diferença de iões metálicos e quantidade de oxigénio entre a fissura e as estruturas vizinhas a essa mesma fissura.

1.4.3.4. Corrosão galvânica

Este tipo de corrosão ocorre quando diferentes metais (ou até mesmo ligas iguais mas submetidas a diferentes tratamentos) com diferentes potenciais entram em contacto através de um eletrólito comum, e consequente transferência de eletrões. Um dos metais torna-se o ânodo e o outro, o cátodo. A corrosão galvânica ocorre, geralmente, próximo da região de união dos dois metais, causando perfurações profundas no material metálico que funciona como um ânodo.

1.4.3.5. Corrosão influenciada por micro-organismos ou biocorrosão

A biocorrosão está associada a micro-organismos (tais como bactérias) e aos produtos das suas atividades metabólicas, como ácidos orgânicos e inorgânicos que poderão acelerar a velocidade de corrosão dos metais. Dependendo da distribuição dos micro-organismos e da propagação dos produtos do seu metabolismo, a biocorrosão pode ser localizada ou generalizada.

1.4.4. O efeito do pH na corrosão dos fios ortodônticos

A corrosão dos metais é um processo eletroquímico no qual a superfície de um metal exposta a um eletrólito aquoso condutor se torna no local onde ocorrem duas reações químicas simultâneas: oxidação e redução (redox).

A extensão da corrosão vai depender da natureza do solvente no qual o metal está imerso e, a não ser que o metal consiga formar a camada protetora na sua superfície (processo de passivação), o processo de corrosão durará até ao consumo total do metal ou do reagente catódico.

O efeito do pH na corrosão dos fios ortodônticos tem vindo a ser amplamente estudado ao longo dos últimos anos. Em 2003, ^{Huang et al. [113]} determinaram a quantidade de iões libertados

de fios de NiTi imersos em saliva artificial com diferentes valores de pH em função do tempo. Concluíram que a quantidade de íões metálicos libertados aumentava com o tempo de imersão em todas as condições testadas e que a quantidade libertada era maior em soluções mais acídicas. Foi ainda observado que a quantidade média de íões de níquel libertados por dia era mais elevada nos primeiros dias, provavelmente devido à formação de uma camada protetora de óxido de titânio (TiO₂) na superfície do fio. A formação desta camada foi mais tarde confirmada por espectroscopia de raio-X (EDS) por Huang^[10] em 2004 que, recorrendo a curvas de polarização cíclica e microscopia eletrónica de varrimento (MEV), também observaram que o potencial de corrosão e a velocidade de corrosão aumentavam com a diminuição do valor do pH.

Outros estudos^[10, 113, 137] revelaram que, apesar de também conter algum hidróxido de níquel (Ni(OH)₂), após a imersão nas soluções testadas, a camada superficial da liga de NiTi é essencialmente composta por óxido de titânio (TiO₂).

1.4.5. O efeito de agentes fluorados e outros agentes profiláticos

O uso de colutórios com o ião fluoreto (F⁻) é um método eficaz para a prevenção de cáries aquando da utilização dos aparelhos ortodônticos^[138-140]. Os produtos fluoretados disponíveis contêm diferentes concentrações do ião fluoreto (de 90 a 22600 mg/L), bem como diferentes valores de pH (desde 3,5 até 7).^[108, 115, 124, 135, 139-152] Os géis fluoretados profiláticos com baixos valores de pH mostraram ser mais eficazes no aumento da formação de fluoreto de cálcio,^[138] desejável na remineralização do esmalte.

A redução da resistência à corrosão do titânio puro e das ligas de titânio em ambientes ricos em fluoreto já foi observada,^[153] verificando ser prejudiciais para o titânio, em ambiente ácido. O titânio fica corroído não só na presença de fluoreto de sódio (NaF) em soluções acídicas, mas também em ambientes com elevado valor de pH, se a concentração de NaF for consideravelmente alta.^[141] Os íões fluoreto degradam a película protetora de óxido de titânio que se forma na superfície do titânio e das suas ligas. O contacto do metal com o eletrólito é possível através de poros existentes na camada de óxido de titânio de diferentes estequiometrias como TiO, Ti₂O₃ or TiO₂, ainda que TiO₂ seja a mais observada.^[154]

Quando os fios ortodônticos de ligas de titânio ficam expostos a produtos tópicos de NaF acidulados, o ácido fluorídrico (HF) é produzido de acordo com a equação 5. O ácido formado irá depois rapidamente dissolver o titânio, de acordo com as equações 6, 7 e/ou 8, levando à corrosão da liga metálica.^[143, 153]



Vários trabalhos constataram que corrosão do Ti e ligas com Ti, aumenta com o aumento da concentração de flúor e com a diminuição do pH da saliva.^[124, 140, 142, 155, 156]

1.4.6. O caso específico do Aço Inoxidável e do TMA

De um modo geral, existem três fases nos tratamentos ortodônticos: 1- nivelamento e alinhamento, 2- fechamento de espaço e correção anterior/posterior, 3- acabamento. Os fios de α -Ti e de aço são os mais frequentemente utilizados nas fases 2 e 3, o que os deixa expostos ao ambiente oral por períodos de tempo mais longos^[144] e ambos os fios mostram elevada formabilidade, o que permite que sejam dobrados em molas de diferentes geometrias.^[78, 81]

Assim, torna-se vital compreender o seu comportamento no que respeita à sua corrosão. Ao contrário das ligas de titânio, a camada passiva dos fios de aço é composta por óxido de cromo e óxido de ferro ($\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$).^[157, 158] Não obstante, esta barreira ser resistente à corrosão também pode sofrer danos. De forma a determinar possíveis diferenças no potencial de corrosão dos fios de aço e TMA, Kim et col.^[159] sujeitaram estes dois fios a polarização anódica numa solução fisiológica (0.9% NaCl) com pH neutro. Adicionalmente, fotografias de MEV revelaram que os fios de aço eram rapidamente suscetíveis a corrosão. Resultados semelhantes foram encontrados por Huang^[157] que, após polarização potenciodinâmica cíclica e ensaios de MEV, detetou que o pH tinha uma influência significativa nos parâmetros de corrosão dos fios de aço. Enquanto o pH parece ser apenas prejudicial para os fios de aço,^[160] tanto o pH como a concentração de ião fluoreto têm efeito negativo nos fios de TMA, sendo a fragilização por hidrogénio uma das razões para a fratura das ligas de TMA durante o tratamento clínico.^[84] Ainda assim, a resistência à corrosão do TMA é maior do que noutros fios.^[161] Em 2003, Watanabe e col.^[145] avaliaram a rugosidade e a cor dos fios de TMA após a sua imersão em agentes fluoretados profiláticos com diferentes valores de pH e observaram que a superfície do TMA imerso em soluções fluoretadas ácidas mudou de cor e morfologia no espaço de 1 hora, exibindo uma superfície muito rugosa depois de 24 horas de imersão. Estes resultados estão de acordo com outros estudos publicados^[115, 162, 163] que mostraram que a degradação das propriedades mecânicas dos fios ortodônticos de TMA aumenta com períodos de imersão mais longos. Em 2007, Walker e col.^[144] avaliaram o efeito de agentes fluoretados profiláticos no módulo elástico de carga e descarga dos fios de TMA e de aço. Após estarem imersos durante 90 minutos em diferentes soluções fluoretadas a 37°C, as propriedades mecânicas de descarga funcional de ambos os fios diminuía em agentes fluoretados ácidos e neutros. Mais ainda, experiências de MEV mostraram mudanças corrosivas na topografia da superfície de ambos os fios após exposição a estes dois agentes fluoretados (ácido e neutro).

Objetivo do trabalho

Ao longo dos anos tem havido uma grande preocupação acerca do impacto da corrosão nos fios ortodônticos. A literatura sugere que há iões metálicos libertados durante o tratamento ortodôntico. Os efeitos do pH e da concentração do ião fluoreto na corrosão dos fios de TMA e de aço inoxidável podem ser bastante negativos em tratamentos ortodônticos prolongados. É um facto que ocorre corrosão nos aparelhos ortodônticos, mas o impacto da corrosão no tratamento ortodôntico e na saúde do paciente não está ainda completamente compreendido. O efeito da corrosão nas propriedades mecânicas dos arames ortodônticos tem sido estudado em algumas características, mas o efeito no sistema de forças desenvolvido em molas ortodônticas utilizadas no encerramento de espaços não tem sido objeto de estudo. Procurou-se neste trabalho avaliar o efeito de diferentes pHs da saliva e da concentração de agentes fluoretados, na corrosão dos fios ortodônticos de beta-titânio e de aço inoxidável e em particular nas molas de geometria T construídas nesses materiais.

Com esse propósito foram estudados os seguintes aspetos:

- quantificação de características mecânicas das molas;
- avaliação da microtopografia da superfície através da análise da rugosidade superfície (perfilometria mecânica);
- caracterização da microtopografia do arame através da observação por microscopia eletrónica de varrimento (MEV);
- realização de uma microanálise por espectrometria de dispersão de energias de raios-X (EDS);
- análise dos produtos de corrosão por espectrofotometria de absorção atómica.

Material e Métodos

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. VARIÁVEL FORÇA E MOMENTO

2.1.1. Força e momento – fase 1

2.1.1.1. Amostra

A Amostra utilizada para esta fase foi constituída por 100 molas em T ($n=100$). As molas foram construídas com 7 mm de altura, 10 mm de comprimento horizontal na sua porção gengival, sendo que a haste vertical apresentava 5 mm e a porção gengival 2 mm (Fig. 13).

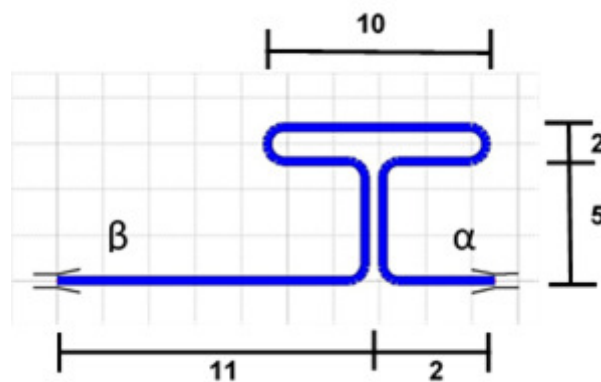


Figura 13. Mola T e respectivas dimensões (mm)

As molas foram divididas em dois subgrupos, em número de 50 para cada liga metálica. Estes foram subdivididos em 5 subgrupos, em número de 10 para cada uma das 5 pré-ativações a testar.

2.1.1.2. Material

As ligas metálicas, utilizadas para a confecção das molas, foram o aço inoxidável (ORMINOX®, Ormco Corp, Glendora, Calif) e o beta-titânio (TMA®, Ormco Corp, Glendora, Calif), de secção 0,017" x 0,025".

Na realização do ensaio mecânico foi utilizado o aparelho de medição OrthoMeasure Moment/Force (Orthomeasuments®, Division of Young Research & Development, Avon, Connecticut, EUA), capaz da mensuração das forças horizontais (g) e momentos (gmm). O aparelho (Fig. 14) é constituído por uma consola ligada por cabo a uma peça de mão, à qual está conectada uma barra metálica com um sulco 0,018" (*bracket*). Os valores do momento e da força desenvolvidos pelo arame de um extremo da mola no sulco, são lidos na consola através de dois ecrãs digitais. A peça de mão ligada à consola é posicionada em α . Uma segunda peça de mão (não ligada a nenhum aparelho de medição), com uma barra metálica

com um sulco 0,018 " é utilizada como extremidade β para fixação do outro extremo da mola.

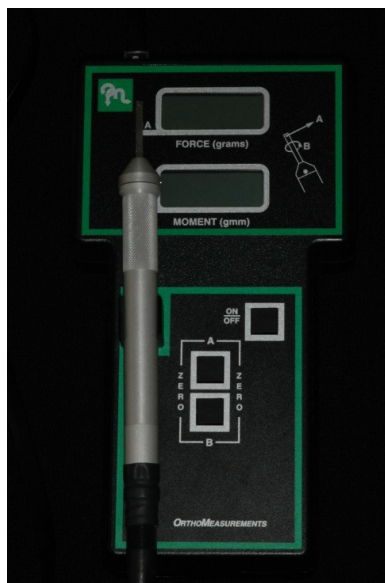


Figura 14. Aparelho OrthoMeasure® Moment/Force

O aparelho de medição OrthoMeasure Moment/Force, permite quantificar forças horizontais até um máximo de 500 g e momentos até 3000 gmm, com uma precisão de 1% para ambas as grandezas e uma sensibilidade de 1g para a força e 10 gmm para o momento (dados do fabricante).

A Mesa de testes para o ensaio mecânico (Fig 15, anexo 1), foi desenvolvida pelo departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Possui duas plataformas com sistemas de suporte para as peças de mão do aparelho OrthoMeasure. A mesa permite um movimento independente das plataformas, com a particularidade da direção do movimento entre elas ser ortogonal. As setas da figura 30, indicam a direção do movimento das respetivas plataformas.

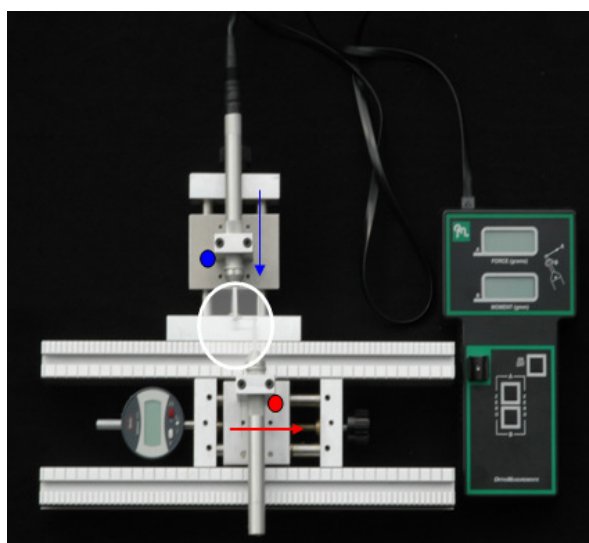


Figura 15. Mesa de Testes

Um comparador digital (MarCator®, Mahr GmbH Esslingen, Alemanha) (Fig 16) acoplado à mesa de testes, é usado para quantificação do movimento registado pela plataforma onde se localiza a extremidade β . O aparelho assinala movimentos dos 0,01 mm até um máximo de 12,7 mm, com uma sensibilidade de 0,01 mm.



Figura 16. Comparador digital

2.1.1.3. Método

As molas foram confeccionadas manualmente, pelo mesmo operador, com o auxílio de um alicate Tweed – 012-350-00 Dentauro® e um alicate 139 AEO 8010414 AEZ®.

Os desenhos das molas T (Fig.13) concebidos através do programa informático, LOOP (dHAL Orthodontic Software®, Athens, Greece), foram utilizados como modelos padronizados de referência na confeção e padronização das molas. As molas confeccionadas, foram justapostas ao respetivo modelo de referência. Nos casos em que não se verificou uma sobreposição total, as molas em causa foram excluídas.

Nas 5 pré-ativações testadas, a inserção de dobras de pré-ativação pode efetuar-se em 4 locais diferentes, assinalados na figura(17).

- A pré-ativação de 0° corresponde à não inserção de qualquer pré-ativação.

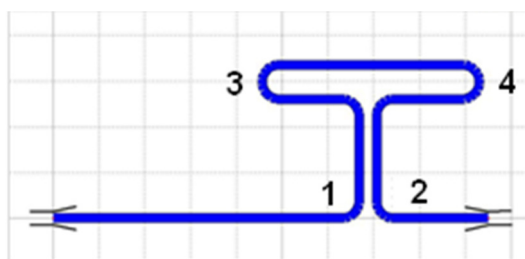


Figura 17. Mola T, identificação numérica das dobras

- A pré-ativação de 20° foi realizada com a inserção de 10° nas dobras 1 e 2. A quantificação exata das respetivas dobras foi calculada e esquematizada através do programa LOOP, as geometrias resultantes foram utilizadas como modelo padronizado de referência (Fig. 18, Anexo2).

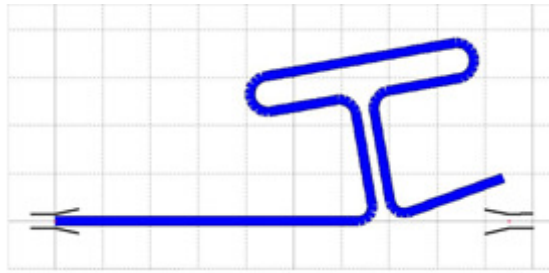


Figura 18. Mola T, com pré-ativação de 20°

- A pré-ativação de 40° foi realizada com a inserção de 20° nas dobras 1 e 2 (Fig. 19, Anexo 2).

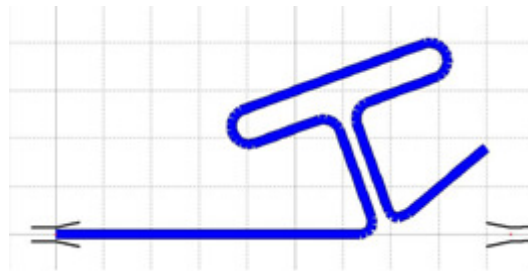


Figura 19. Mola T, com pré-ativação de 40°

- A pré-ativação de 20° foi realizada com a inserção de 10° nas dobras 3 e 4 (Fig. 20, Anexo 2).

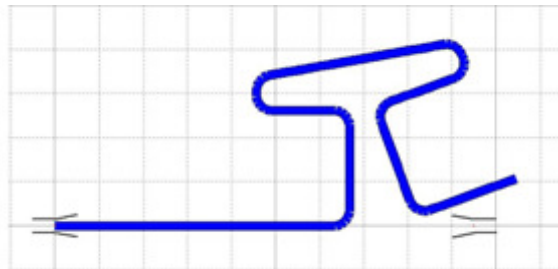


Figura 20. Mola T, com pré-ativação de 20°

- A pré-ativação de 40° foi realizada com a inserção de 10° nas dobras 1, 2, 3 e 4 (Fig. 21, Anexo 2)

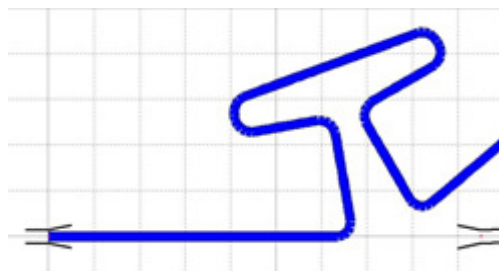


Figura 21. Mola T, com pré-ativação de 40°

A distância inter-*bracket* experimental preconizada foi de 13 mm. As plataformas da mesa de testes foram posicionadas de modo a que a distância entre as duas peças de mão α e β , mais precisamente os sulcos 0,018" (*bracket*), do aparelho OrthoMeasure perfizessem os 13 mm, orientados de forma colinear. Nestas condições o comparador digital foi calibrado para 0 mm.

Nos modelos padronizados de referência, foi definida uma distância de 19 mm entre as extremidades α e β das respectivas molas, com 5 mm excedentários nas extremidades de todas as molas para depois efetuar dobras de 90° no sentido oclusal com o intuito de funcionar como anteparo para a sua inserção no *bracket* e ainda durante as ativações.

Os sulcos da peça de mão do aparelho OrthoMeasure medem 3 mm de largura cada. Assim, dos 19 mm que separam as extremidades das molas, subtraídos 3 mm em α e em β , resultam 13 mm equivalentes à distância inter-*bracket* testada (Fig. 22).

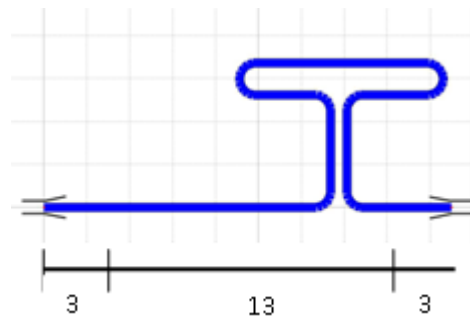


Figura 22. Mola T, medidas horizontais

Quando as molas estão colocadas, na extremidade α (extremidade anterior e mais curta) com 5 mm, feita a subtração dos 3 mm do sulco, resultam 2 mm de distância que traduzem a distância entre o *bracket* e a haste vertical da mola.

O teste mecânico é composto por quatro passos:

- Passo 1: inserção das molas nos sulcos para uma distância inter-*bracket* de 13 mm, equivalente a 0 mm de ativação nas plataformas da mesa (Fig 23);
- Passo 2: ativação – afastamento da plataforma. Foram realizadas afastamentos consecutivos para um valor inicial de 1 mm e um máximo de 6 mm, com iterações de 0,5 mm. O valor de cada afastamento (ativação) foi quantificado em β , com o comparador digital, em milímetros;
- Passo 3: a força e do momento para cada ativação e para cada mola em α foram lidos no aparelho OrthoMeasure. A força em gramas e o momento em grama-milímetro;
- Passo 4: registo dos valores. Os valores foram registados informaticamente em tabelas, para posterior tratamento de dados.

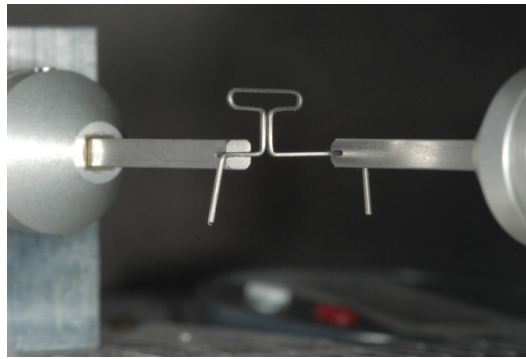


Figura 23. Passo1

A ativação máxima foi limitada a valores inferiores a 5 mm, nas ativações em que a força horizontal e/ou o momento registraram valores superiores a 300g e 3000 gmm respectivamente. No máximo foram realizados para cada mola 9 afastamentos consecutivos (ativações).

Para cada mola foram repetidos 3 ciclos de ativação em tempos diferentes. Foram verificadas a manutenção da geometria e da respectiva pré-ativação de cada mola entre cada ciclo.

2.1.1.4. Análise estatística

Os dados recolhidos foram analisados no IBM® SPSS® Statistics v 22.0.

Em termos gráficos foram traçados os gráficos de perfis para os valores médios (M) e respetivos intervalos de confiança a 95%.

Atendendo à natureza das variáveis envolvidas a análise constituiu um estudo dos efeitos de diversos fatores (pré-ativação, material e ativação), nas variáveis dependentes consideradas (força, proporção momento/força), utilizando a metodologia ANOVA.

Após serem detetadas diferenças significativas foram efetuados os testes de comparação múltipla (teste de Bonferroni) para os diferentes níveis de pré-ativação.

A regra de decisão utilizada, consistiu em detetar evidência estatística significativa, para valores de probabilidade (valor prova do teste) inferior a 0.05.

2.1.1.5. Exatidão e precisão do método

A exatidão está relacionada com a concordância entre os valores medidos e o valor aceite como verdadeiro, isto é, quão perto do valor real estão as medições. Por outro lado, a precisão está relacionada com a concordância entre os valores obtidos no mesmo ensaio, repetido várias vezes (reprodutibilidade das medidas). A precisão e a exatidão podem ser consideradas medidas, respetivamente, dos erros aleatórios e dos erros sistemáticos.

Deve-se assegurar que os erros das medições são de uma ordem de grandeza que não afete as conclusões a retirar dos resultados.

Para avaliação da exatidão da mensuração da força, foi suspenso um peso de 100g no aparelho OrthoMeasure e foram registadas dez medições. O teste t de student foi usado para determinar se os registos são estatisticamente diferentes do valor expectável.

Para avaliação da exatidão da mensuração do momento, foi suspenso um peso de 10g na extremidade β , de um segmento de arame linear com a extremidade α inserida no sulco da peça de mão do aparelho OrthoMeasure. (Fig. 24). A distância entre as extremidades α e β é de 30 mm. Como Momento = Força x Distância, o valor previsível para o momento será de 300 gmm. Foram efetuadas dez medições, e mais uma vez o teste t de student foi usado para determinar se os registos são estatisticamente diferentes do valor previsível.

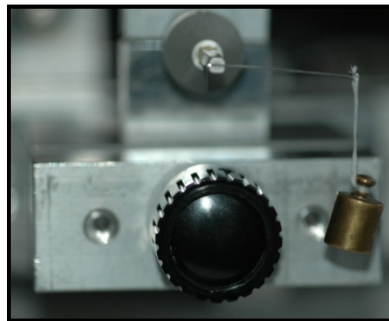


Figura 24. Ensaio para avaliação da exatidão no cálculo do momento.

2.1.2. Catalogação das molas – fase 2

2.1.2.1. Amostra

A Amostra utilizada para esta fase foi constituída por 360 molas em T ($n=360$), executadas segundo o método referido na fase anterior. O grupo das molas foi dividido em dois subgrupos, de 180 para cada liga metálica.

Todas as molas foram identificadas individualmente, de 1 a 180, para cada tipo de liga metálica.

2.1.2.2. Método

O sistema e as condições iniciais utilizados para a medição da força e momento foi o referido na fase anterior até ao passo 2. O passo 2 do método difere em função do tipo de liga metálica.

- Passo 2 (aço/TMA): ativação – afastamento da plataforma.
O afastamento é realizado até o aparelho OrthoMeasure atingir o valor de 95g/50g, respetivamente, para o aço e TMA. A essa força corresponde um valor de afastamento assinalado pelo comparador digital, o qual é registado como ativação inicial para a mola em causa. À ativação inicial seguem-se afastamentos consecutivos com iterações de 0,5 mm, num máximo de 5 para o aço e 8 para o TMA;

- Passo 3: a força e o momento para cada ativação e para cada mola em α foram lidos no aparelho OrthoMeasure: a força em gramas e o momento em grama-milímetro;
- Passo 4: registo dos valores. Os valores foram registados informaticamente, em tabelas, para posterior tratamento de dados.

A ativação máxima foi limitada a valores inferiores a 3,5 mm e a 5 mm para o aço e TMA respetivamente, nas ativações em que a força horizontal e/ou o momento registaram valores superiores a 300g e 3000 gmm respetivamente.

Para cada mola foram repetidos 7 ciclos de ativação, registados em tabela de Excel (tabela 2), para posterior tratamento estatístico (dado t0). No fim cada ciclo a mola foi removida e recolocada na mesa de testes para início de novo ciclo.

mola:	mm	1º Ciclo		2º Ciclo		3º Ciclo		4º Ciclo		5º Ciclo		6º Ciclo		7º Ciclo	
		força	momento	força	momento	força	momento	força	momento	força	momento	força	momento	força	momento
activ. Inicial:															
	1,5														
	2														
	2,5														
	3														
	3,5														
	4														
	4,5														
	5														

Tabela 2. Tabela de registos em Excel

2.1.3. Imersão em saliva – fase 3

2.1.3.1. Material e método

Preparação da saliva artificial.

A saliva artificial foi preparada laboratorialmente, no serviço Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP, segundo a composição descrita na tabela 3. ^[164, 165]

Composição da saliva artificial	
Água destilada	200 mL
Cloreto de potássio	2,894 g
Hidrocarbonato de sódio	3,007 g
Dihidrogenofosfato de sódio	0,8648 g
Tiocianato de potássio	0,990 g

Tabela 3. Composição da Saliva

A condição de pH do meio salivar foi a seguinte: pH = 6,75 e pH = 4. Os acertos de pH foram obtidos através da adição de ácido láctico.

A saliva foi esterilizada e filtrada com ME membrana 0,2 μ m (mixed cellulose ester membranes/ GE HEALTHCARE WHATMAN) (Fig. 25)

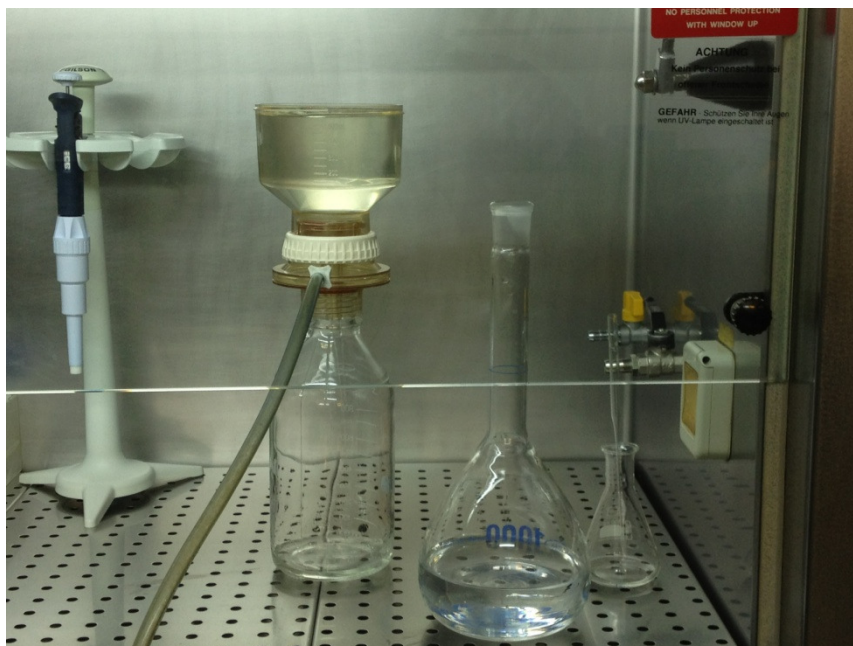


Figura 25. Filtragem da saliva artificial na câmara de fluxo.

A totalidade das molas de cada liga foi dividida em dois, para imersão nas duas variáveis de pH. No acondicionamento das molas foram utilizadas placas de cultura de 6 poços, e a cada poço correspondeu uma mola individual devidamente identificada e esterilizada (Fig 26).

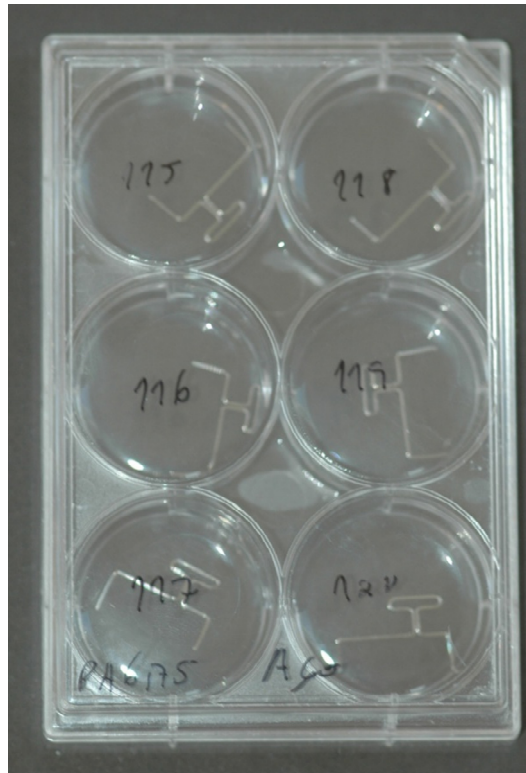


Figura 26. Placas de cultura com molas.

O acondicionamento foi realizado em ambiente esterilizado, com recurso a câmara de fluxo. As placas de cultura com as amostras foram colocadas em estufa a 37°C em atmosfera húmida contendo 5% de CO₂ (EHRET® – BIOFASE 2 –IP 20 DIN 40050), do laboratório de Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP.

2.1.4. Força e momento após imersão em saliva – fase 4

2.1.4.1. Método

Os tempos de imersão e acondicionamento a 37 °C foram de 1 mês (t1), 3 meses (t3) e 5 meses (t5).

Ao fim de 1 mês (t1), foram retiradas da estufa aleatoriamente 30 molas (n=30) de cada grupo (liga/pH). A cada mola devidamente identificada (com ativação inicial individual) foi repetida a medição da força e momento segundo o método anteriormente descrito em 2.1.2.2.

Nos tempos t3 e t5 o mesmo procedimento foi executado para o mesmo número de molas por grupo.

A tabela 4 resume de forma esquemática os grupos formados em t1, t3 e t5.

Amostra Saliva	Material	pH	Tempo imersão
Aph4t1	Aço	4	1 mês
ApH6t1	Aço	6,75	1 mês
TMApH4t1	TMA	4	1 mês
TMApH6t1	TMA	6,75	1 mês
ApH4t3	Aço	4	3 meses
ApH6t3	Aço	6,75	3 meses
TMApH4t3	TMA	4	3 meses
TMApH6t3	TMA	6,75	3 meses
ApH4t5	Aço	4	5 meses
ApH6t5	Aço	6,75	5 meses
TMApH4t5	TMA	4	5 meses
TMApH6t5	TMA	6,75	5 meses

Tabela 4. Grupos de imersão em saliva

2.1.4.2. Análise estatística

2.1.4.2.1. Molas de aço/TMA

Pretende-se testar o efeito da saliva e do seu pH na força, momento e momento/força de molas de aço/TMA. Para este efeito, as molas foram submersas em saliva, tendo sido considerados dois níveis de pH (4 e 6.75) e três durações de tempo (1, 3 e 5 meses), tendo cada mola sido sujeita a 6 níveis de ativação inicial (1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5) no caso do aço e a 9 níveis de ativação inicial (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5) para o TMA. Consequentemente, foram testadas 30 molas para cada combinação de pH e de duração, num total de 180 molas por liga, tendo todos os testes sido realizados por ordem aleatória.

Analisa-se as diferenças entre os dois momentos de medição (início e fim do tempo em que a mola esteve submersa em saliva), começando-se pelo efeito na força.

Em primeiro lugar, testa-se a normalidade das diferenças (para a força e para o momento) recorrendo ao teste de Shapiro-Wilk. Em função deste resultado, testa-se a significância das diferenças recorrendo ao teste t-Student (no caso de a hipótese de normalidade não ser rejeitada), ou ao teste de Wilcoxon (no caso contrário). Assim, a hipótese nula em teste é a de que a diferença média é zero (o que significa que os valores no início e no fim do tempo são iguais em média) e a hipótese alternativa é geralmente (com algumas exceções que serão assinaladas) a de que a diferença média é positiva (o que significa que o valor no início é superior ao do fim do tempo em média). Os testes são realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que são testadas nos dois momentos.

Utiliza-se um nível de significância de 5% para todos os testes (o mais habitualmente utilizado).

2.1.4.2.2. Determinação das causas das diferenças

Com o objetivo de determinar quais os fatores experimentais (ativação inicial, pH e tempo de imersão em saliva) que afetam significativamente as diferenças (força, momento e momento/força), ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla.

Este modelo permite concluir quais os fatores experimentais que efetivamente influenciam as diferenças e em que sentido. Ou seja, a variável explicada (resposta) é a diferença e as variáveis explicativas do modelo (regressores) são os fatores experimentais.

Para o ajustamento, elimina-se do modelo os fatores experimentais cujo parâmetro estimado não for estatisticamente significativo (nível de significância de 5%). Foi também efetuado um ajustamento em passos (“stepwise”) e os resultados são coincidentes ou apresentam apenas ligeiras diferenças sem significado.

2.1.5. Força e momento após imersão em saliva fluoretada – fase 5

2.1.5.1. Material

A saliva fluoretada resultou da adição de NaF à saliva artificial de pH4 e pH 6,75. A quantidade de NaF foi calculada no propósito de obter dois tipos de concentração de íão F^- :

- 1500 partes por milhão (ppm) de íão F^- .
- 22600 ppm de íão F^- .

2.1.5.2. Amostra

Cada grupo da amostra saliva foi dividido e cada metade (n=15) das molas foi imersa numa das duas condições de saliva fluoretada.

O tempo de imersão das molas em saliva fluoretada dependeu do tempo de imersão em saliva (t) e do ppm em flúor. A tabela 5 apresenta os novos grupos resultantes desta fase, identificando as condições que os caracterizam.

Amostra Saliva Fluoretada	Amostra Saliva	ppm Flúor	Tempo imersão
ApH4t1-1500	ApH4t1	1500	30 min
ApH4t1-22600	ApH4t1	22600	5 min
ApH6t1-1500	ApH6t1	1500	30 min
ApH6t1-22600	ApH6t1	22600	5 min
TMApH4t1-1500	TMApH4t1	1500	30 min
TMApH4t1-22600	TMApH4t1	22600	5 min
TMApH6t1-1500	TMApH6t1	1500	30 min
TMApH6t1-22600	TMApH6t1	22600	5 min
ApH4t3-1500	ApH4t3	1500	90 min
ApH4t3-22600	ApH4t3	22600	5 min
ApH6t3-1500	ApH6t3	1500	90 min

ApH6t3-22600	ApH6t3	22600	5 min
TMApH4t3-1500	TMApH4t3	1500	90 min
TMApH4t3-22600	TMApH4t3	22600	5 min
TMApH6t3-1500	TMApH6t3	1500	90 min
TMApH6t3-22600	TMApH6t3	22600	5 min
ApH4t5-1500	ApH4t5	1500	150 min
ApH4t5-22600	ApH4t5	22600	5 min
ApH6t5-1500	ApH6t5	1500	150 min
ApH6t5-22600	ApH6t5	22600	5 min
TMApH4t5-1500	TMApH4t5	1500	150 min
TMApH4t5-22600	TMApH4t5	22600	5 min
TMApH6t5-1500	TMApH6t5	1500	150 min
TMApH6t5-22600	TMApH6t5	22600	5 min

Tabela 5. Grupos de imersão em saliva Fluretada

2.1.5.3. Material e método

Após a imersão de cada grupo de molas segundo as condições de tempo e concentração do ião fluoreto, cada mola foi submetida ao ensaio mecânico segundo o método enunciado 2.1.2.2.

2.1.5.4. Análise estatística

2.1.5.4.1. Molas de aço/TMA

Pretende-se testar o efeito do flúor na força, momento e momento/força de molas de aço/TMA. Para este efeito, após terem sido submersas em saliva (durante 1 mês, 3 meses ou 5 meses), as molas foram submersas em flúor, tendo sido considerados os níveis de 1500 ppm e 22600 ppm, tendo cada mola sido sujeita aos mesmos 6 níveis de ativação inicial (1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5) no caso do aço e a 9 níveis de ativação inicial (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5) para o TMA. Todos os testes foram realizados por ordem aleatória.

Analisa-se as diferenças entre os dois momentos de medição, ou seja, entre o momento em que as molas são retiradas da saliva, antes de serem submersas em flúor, e o momento em que são retiradas do flúor, começando-se pelo efeito na força.

Em primeiro lugar, testa-se a normalidade das diferenças, recorrendo ao teste de Shapiro-Wilk. Em função deste resultado, testa-se a significância das diferenças, recorrendo ao teste t-Student (no caso de a hipótese de normalidade não ser rejeitada), ou ao teste de Wilcoxon (no caso contrário). Assim, a hipótese nula em teste é a de que a diferença média é zero (o que significa que os valores antes e após a imersão em flúor são iguais em média) e a hipótese alternativa é geralmente (com algumas exceções, que serão assinaladas) a de que a diferença média é positiva (o que significa que o valor antes da imersão em flúor é em média superior ao valor após essa imersão). Os testes são realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que são testadas nos dois momentos.

Continua a utilizar-se um nível de significância de 5% para todos os testes.

2.1.5.4.2. Determinação das causas das diferenças

Com o objetivo de determinar quais os fatores experimentais (ativação inicial, pH, tempo de imersão em saliva e flúor) que afetam significativamente as diferenças (força, momento e momento/força), ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla. Este modelo permite concluir quais os fatores experimentais que efetivamente influenciam as diferenças e em que sentido. Ou seja, a variável explicada (resposta) é a diferença e as variáveis explicativas do modelo (regressores) são os fatores experimentais.

Para o ajustamento, elimina-se do modelo os fatores experimentais cujo parâmetro estimado não for estatisticamente significativo (nível de significância de 5%). Foi também efetuado um ajustamento em passos ("stepwise") e os resultados são coincidentes ou apresentam apenas ligeiras diferenças sem significado.

2.2. VARIÁVEL RUGOSIDADE

2.2.1. Avaliação da rugosidade da superfície (perfilometria mecânica) do arame – fase 1

2.2.1.1. Amostra- fase 1

A amostra utilizada foi constituída por 144 molas para cada uma das ligas utilizadas.

2.2.1.2. Material

As ligas metálicas utilizadas foram o aço inoxidável (ORMINOX®, Ormco Corp, Glendora, Calif) e o beta-titânio (TMA®, Ormco Corp, Glendora, Calif), de secção 0,017” x 0,025”.

Para a avaliação da rugosidade da superfície foi utilizado um equipamento de rugosimetria da marca Hommelwerke, modelo T8000, instalado na Unidade de Tribologia, Vibrações e Manutenção Industrial – CETRIB, do INEGI da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP - (Fig. 27).



Figura 27. Equipamento de rugosimetria da marca Hommelwerke.

Este aparelho permitiu-nos uma avaliação quantitativa da textura da superfície através da análise de parâmetros de rugosidade. O comprimento da zona medida foi de 1,5mm, tendo sido utilizado um filtro cut-off de 0,25mm; recorreu-se a um apalpador TKL100, com um raio de ponta de 5 μ m e um ângulo de cone de 90°. As medições efetuadas foram filtradas usando um filtro M1, de acordo com a norma ISO 11562.

Na Tabela 6 estão indicadas as características do equipamento de medição das rugosidades, bem como as condições de medição.

CARACTERISTICA	VALOR
Controlador	Hommelwerke T8000
Tipo de Apalpador	TKL100
Comprimento de Leitura – Lt	1.50 mm
“Cutt-off” – Lc	0.25 mm
Velocidade de Leitura – Vt	0.15 mm/s
Filtro	M1
Número de medições por zona considerada	3

Tabela 6. Características do Equipamento de medição

2.2.1.3. Método

Todas as molas foram realizadas manualmente pelo mesmo operador, com o auxílio de um alicate Universal – 045-019-00 D-S Dentaurum® e de um alicate Tweed Bird Beak Plier 803-0124 AEZ® da Ormco.

Cada amostra, foi colocada em banho de ultrassons com álcool etílico a 96% vol. e depois seca sobre uma base limpa. Seguidamente procedeu-se á medição da rugosidade da superfície das molas.

As medições da rugosidade foram realizadas na superfície de maior diâmetro do arame, nos 10 mm de comprimento horizontal da mola, na sua porção gengival (Fig. 28).

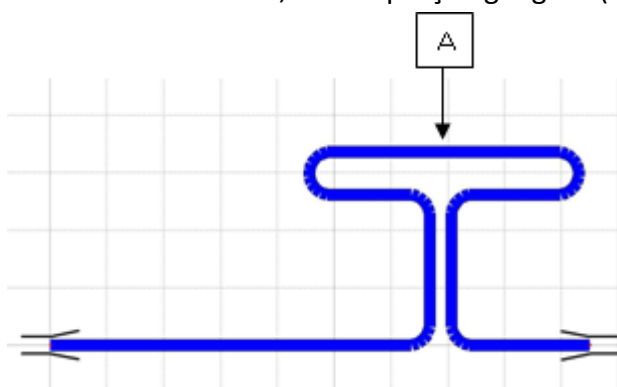


Figura 28. Superfície de leitura do perfil de rugosidade

A medição obtida através do aparelho de rugosimetria resulta da ação de uma ponta de leitura, um apalpador, em forma de estilete, que percorre a superfície do arame, num comprimento de 1,5 mm, a uma velocidade constante. Os movimentos registados

representam o perfil de superfície dos arames. O parâmetro avaliado para a caracterização da rugosidade da superfície foi o parâmetro de amplitude – Ra.

O parâmetro Ra resulta na média aritmética dos valores absolutos de afastamento dos pontos de perfil de rugosidade em relação à linha média, presentes na superfície avaliada (Fig. 29).

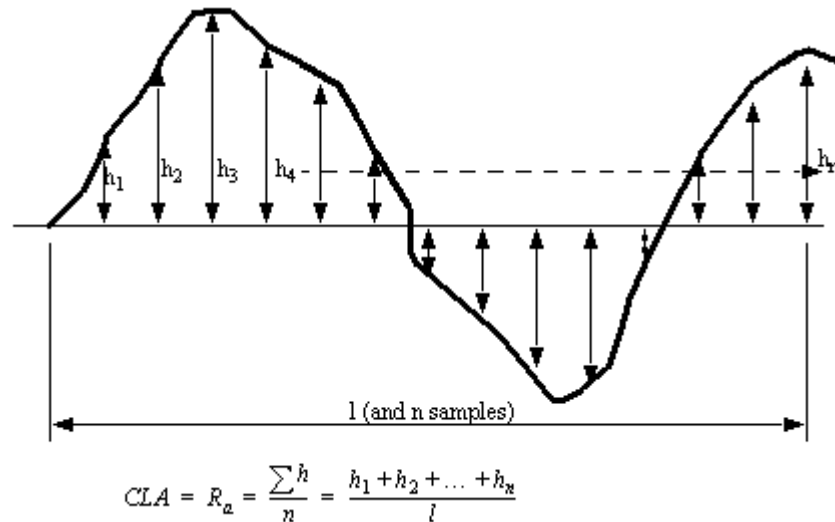


Figura 29. Ra - desvio médio do perfil a partir da linha média.

Neste trabalho foram também efetuadas topografias para avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras. As topografias foram efetuadas na mesma zona de medição dos perfis de rugosidade a duas dimensões, recorrendo ao mesmo equipamento utilizado. A área de medição das topografias é de 0.5 mm x 0.5 mm, sendo, portanto, efetuadas com medições paralelas com distância entre si de 5 µm, tendo cada uma das medições um comprimento de apalpação de 0.5 mm.

Para cada topografia foi determinado o parâmetro de rugosidade 3D, parâmetro de amplitude- Sa, sendo o cálculo efetuado após a aplicação de um filtro gaussiano com um cut-off de 0.08mm.

2.2.2. Imersão em saliva – fase 2

2.2.2.1. Material e método

A totalidade das molas (amostra da fase 1) de cada liga foi dividida em dois, para imersão em saliva artificial nas duas variáveis de pH (4 e 6,75). No acondicionamento das molas foram utilizadas placas de cultura de 6 poços, e a cada poço correspondeu uma mola individual devidamente identificada e esterilizada, com recurso a câmara de fluxo. As placas de cultura com as amostras foram colocadas em estufa a 37°C em atmosfera húmida contendo 5% de CO2 (EHRET® – BIOFASE 2 –IP 20 DIN 40050) pertencente ao serviço de Farmacologia da FMDUP.

2.2.3. Rugosidade após imersão em saliva – fase 3

2.2.3.1. Material e método

Os tempos de imersão e acondicionamento a 37 °C foram de 1 mês (t1), 3 meses (t3) e 5 meses (t5).

Ao fim de 1 mês (t1), foram retiradas da estufa aleatoriamente 24 molas de cada grupo (liga/pH). Antes de efetuar nova medição da rugosidade de superfície, cada amostra foi novamente colocada em banho de ultrassons com álcool etílico a 96% vol. e depois seca sobre uma base limpa.

Nos tempos t3 e t5 o mesmo procedimento foi executado para o mesmo número de molas por grupo.

A tabela 7 resume de forma esquemática os grupos formados em t1, t3 e t5 para a medição da variável rugosidade após imersão em saliva artificial.

Amostra	Material	pH	Tempo imersão
R-ApH4t1	Aço	4	1 mês
R-ApH6t1	Aço	6,75	1 mês
R-TMApH4t1	TMA	4	1 mês
R-TMApH6t1	TMA	6,75	1 mês
R-ApH4t3	Aço	4	3 meses
R-ApH6t3	Aço	6,75	3 meses
R-TMApH4t3	TMA	4	3 meses
R-TMApH6t3	TMA	6,75	3 meses
R-ApH4t5	Aço	4	5 meses
R-ApH6t5	Aço	6,75	5 meses
R-TMApH4t5	TMA	4	5 meses
R-TMApH6t5	TMA	6,75	5 meses

Tabela 7. Grupos formados para medição da rugosidade das molas em saliva

2.2.3.1.1. Análise estatística

Pretende-se testar o efeito da saliva e do seu pH na rugosidade de molas. Para este efeito, as molas foram submersas em saliva, tendo sido considerados dois níveis de pH (4 e 6.75) e três durações de tempo (1, 3 e 5 meses). Para cada nível de pH, foram imersas 24 molas durante 1 mês, 24 molas durante 3 meses e 24 molas durante 5 meses, tendo todos os testes sido realizados por ordem aleatória.

Analisa-se as diferenças da rugosidade entre os dois momentos de medição (início e fim do tempo em que a mola esteve imersa em saliva). Em primeiro lugar, testa-se a normalidade das diferenças, recorrendo novamente ao teste de Shapiro-Wilk.

Em função deste resultado, testa-se a significância das diferenças recorrendo ao teste t-Student (no caso de a hipótese de normalidade não ser rejeitada) ou ao teste de Wilcoxon (no caso contrário). Assim, a hipótese nula em teste é a de que a diferença média é zero (o

que significa que os valores no início e no fim do tempo são iguais em média) e a hipótese alternativa é geralmente (com algumas exceções que serão assinaladas) a de que a diferença média é positiva (o que significa que o valor no início é superior ao do fim do tempo em média).

Os testes são realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que são testadas nos dois momentos (tal como nas experiências anteriores). Utiliza-se um nível de significância de 5% para todos os testes.

2.2.4. Rugosidade após imersão em saliva fluoretada – fase 4

2.2.4.1. Material e método

Cada grupo da amostra avaliada no ponto anterior foi dividido e cada metade das molas foi imersa numa das duas condições de saliva fluoretada (1500 ppm e 22600 ppm).

O tempo de imersão das molas em saliva fluoretada dependeu do tempo de imersão em saliva (t) e da concentração em flúor. A tabela 8 apresenta os novos grupos desta fase, identificando as condições que os caracterizam.

Amostra Saliva Fluoretada	Amostra Saliva	ppm Flúor	Tempo imersão
R-ApH4t1-1500	R-ApH4t1	1500	30 min.
R-ApH4t1-22600	R-ApH4t1	22600	5 min.
R-ApH6t1-1500	R-ApH6t1	1500	30 min.
R-ApH6t1-22600	R-ApH6t1	22600	5 min.
R-TMApH4t1-1500	R-TMApH4t1	1500	30 min.
R-TMApH4t1-22600	R-TMApH4t1	22600	5 min.
R-TMApH6t1-1500	R-TMApH6t1	1500	30 min.
R-TMApH6t1-22600	R-TMApH6t1	22600	5 min.
R-ApH4t3-1500	R-ApH4t3	1500	90 min.
R-ApH4t3-22600	R-ApH4t3	22600	5 min.
R-ApH6t3-1500	R-ApH6t3	1500	90 min.
R-ApH6t3-22600	R-ApH6t3	22600	5 min.
R-TMApH4t3-1500	R-TMApH4t3	1500	90 min.
R-TMApH4t3-22600	R-TMApH4t3	22600	5 min.
R-TMApH6t3-1500	R-TMApH6t3	1500	90 min.
R-TMApH6t3-22600	R-TMApH6t3	22600	5 min.
R-ApH4t5-1500	R-ApH4t5	1500	90 min.
R-ApH4t5-22600	R-ApH4t5	22600	5 min.
R-ApH6t5-1500	R-ApH6t5	1500	150 min.
R-ApH6t5-22600	R-ApH6t5	22600	5 min.
R-TMApH4t5-1500	R-TMApH4t5	1500	150 min.
R-TMApH4t5-22600	R-TMApH4t5	22600	5 min.
R-TMApH6t5-1500	R-TMApH6t5	1500	150 min.
R-TMApH6t5-22600	R-TMApH6t5	22600	5 min.

Tabela 8. Grupos para medição da rugosidade das molas em saliva fluoretada

Após imersão de cada grupo de molas segundo as condições de tempo e concentração do ião fluoreto, a rugosidade de superfície de cada mola foi avaliada segundo o método enunciado na fase anterior.

2.2.4.1.1. Análise estatística

Pretende-se testar o efeito do flúor na rugosidade das molas. Para este efeito, após terem sido submersas em saliva (durante 1 mês, 3 meses ou 5 meses) para dois níveis de pH (4 e 6.75), as molas foram submersas em flúor, tendo sido considerados os níveis de 1500 ppm e 22600 ppm. Todos os testes foram realizados por ordem aleatória.

Analisa-se as diferenças entre os dois momentos de medição, ou seja, entre o momento em que as molas são retiradas da saliva, antes de serem submersas em flúor, e o momento em que são retiradas do flúor. Em primeiro lugar, testa-se a normalidade das diferenças recorrendo ao teste de Shapiro-Wilk.

Em função deste resultado, testa-se a significância das diferenças recorrendo ao teste t-Student (no caso de a hipótese de normalidade não ser rejeitada) ou ao teste de Wilcoxon (no caso contrário). Assim, a hipótese nula em teste é a de que a diferença média é zero (o que significa que os valores antes e após a imersão em flúor são iguais em média) e a hipótese alternativa é a de que a diferença média é negativa (o que significa que o valor antes da imersão em flúor é em média inferior ao valor após essa imersão). Os testes são realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que são testadas nos dois momentos. Continua a utilizar-se um nível de significância de 5% para todos os testes.

2.3. Microscopia eletrónica de varrimento (MEV) / Espectrometria de dispersão de energia de raios-X (EDS)

2.3.1. Material

A microscopia eletrónica de varrimento foi realizada no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), com um aparelho da marca JEOLJSM6301F (Fig. 30).



Figura 30. Aparelho de microscopia eletrónica de varrimento da marca JEOLJSM6301F, utilizado para a caracterização morfológica e microestrutural das superfícies dos implantes, com elevada resolução espacial.

Este aparelho permitiu realizar uma análise descritiva da superfície, através de uma caracterização da microtopografia do arame, com recurso a imagens com ampliação a 180×, 500×, 2000×, 5000×. Todas as imagens registadas foram gravadas.

Este aparelho permitiu também a realização de uma microanálise por espectrometria de dispersão de energias de raios-X (EDS), identificando quais os elementos constituintes da amostra.

2.3.2. Amostra

A amostra foi constituída por 24 molas, uma por cada combinação, identificada nas tabelas 9 e 10.

Mola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liga	Aço	TMA	Aço	Aço	TMA	TMA	Aço	Aço	TMA	TMA
pH			4	6,75	4	6,75	4	6,75	4	6,75
Tempo			t3	t3	t3	t3	t5	t5	t5	t5
ppm										

Tabela 9. Combinação liga ph/tempo

Mola	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Liga	Aço	Aço	Aço	Aço	TMA	TMA	TMA	TMA	Aço	Aço	Aço	Aço	TMA	TMA	TMA	TMA
pH	4	4	6,75	6,75	4	4	6,75	6,75	4	4	6,75	6,75	4	4	6,75	6,75
Tempo	t3	t3	t3	t3	t3	t3	t3	t3	t5	t5	t5	t5	t5	t5	t5	t5
Ppm	1500	22600	1500	22600	1500	22600	1500	22600	1500	22600	1500	22600	1500	22600	1500	22600

Tabela 10. Combinação liga ph/tempo/ppm fluor

2.3.2.1. Material e método

As várias combinações (pH/tempo/ppm) obedeceram às diferentes metodologias já anteriormente referidas.

Todas as amostras, após imersão segundo as respetivas condições, foram colocadas em banho de ultrassons com álcool etílico a 96% vol., por um período de 50 minutos. Após um período de secagem, as molas foram fixadas num suporte de alumínio foi colada fita de carbono de dupla face para avaliação.

Por cada mola foram observados três locais distintos e característicos da geometria da mola em T, assinaladas pelos caracteres A, B, C na figura 31. Cada local foi observado com um aumento de 180X, 500X, 2000X e 5000X.

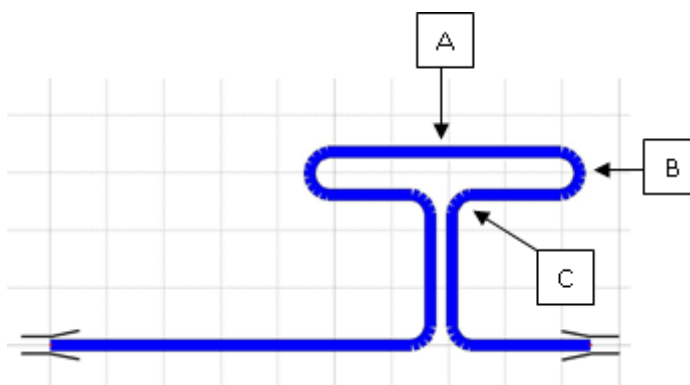


Figura 31. Locais de observação da mola

2.4. Análise dos produtos de corrosão por espectrofotometria de absorção atômica

2.4.1. Amostra

A análise dos produtos de corrosão foi efetuada em 16 amostras, 7 das quais para o ião Níquel e as restantes para o ião Molibedênio. A denominação utilizada para cada amostra em função da liga/pH/tempo/ppm, assim como o ião a pesquisar, apresenta-se esquematizada na tabela 11.

Amostra	Material	pH	Tempo imersão	Pesquisa/ião
AA-Nicontrolo	Saliva	4	5 meses	Ni
AA-Mocontrolo	Saliva	6,75	5 meses	Mo
AA-TMApH4t1	TMA	4	1 mês	Mo
AA-TMApH6t1	TMA	6,75	1 mês	Mo
AA-ApH4t3	Aço	4	3 meses	Ni
AA-ApH6t3	Aço	6,75	3 meses	Ni
AA-TMApH4t3	TMA	4	3 meses	Mo
AA-TMApH6t3	TMA	6,75	3 meses	Mo
AA-ApH4t5	Aço	4	5 meses	Ni
AA-ApH6t5	Aço	6,75	5 meses	Ni
AA-TMApH4t5	TMA	4	5 meses	Mo
AA-TMApH6t5	TMA	6,75	5 meses	Mo
AA-ApH4-1500	Aço/1500ppm	4	30 min.	Ni
AA-TMApH41500	TMA/1500ppm	4	30 min.	Mo
AA-ApH422600	Aço/22600ppm	4	5 min.	Ni
AA-TMApH422600	TMA/22600ppm	4	5 min.	MO

Tabela 11. Pesquisa de iões

2.4.2. Material

As análises de Ni e de Mo foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica com chama, recorrendo aos espectrofotômetros GBC 932 Scientific Equipment PTY, modelo 932 e Unicam, modelo 939, respetivamente, cujos parâmetros se encontram na tabela 12.

Parâmetros de análise do espectrofotómetro/Parâmetros Instrumentais		
Elemento	Ni	Mo
Corrente da Lâmpada (mA)	4,0	5,0
Comprimento de Onda (nm)	232,0	313,3
Largura da Fenda (nm)	0,2	0,2
Parâmetros de Controlo da Chama		
Tipo de Chama	Ar- Acetileno	N2O- Acetileno
Caudal de Combustível (l/min)	2,00	6,00
Fluxo de Oxidante (l/min)	10,0	10,0
Ângulo do Queimador (graus)	0,0	0,0

Tabela 12. Parâmetros de análise do espectrofotómetro

2.4.3. Método

A cada amostra corresponde um conjunto de molas de uma das duas ligas metálicas em estudo (aço e TMA), imersas em saliva artificial com pH 4 ou 6,75, na presença ou não de ião fluoreto. As molas esterilizadas foram colocadas em tubos Falcon de 15 mL também esterilizados, contendo 5 mL de saliva artificial na condição da respetiva amostra. Todo o processo foi realizado em câmara de fluxo, no serviço de Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP. A quantidade de saliva utilizada neste trabalho está de acordo com o Padrão de Organização Internacional (ISO 10993), cuja razão é de 0,2 g arame para cada 1 mL da saliva (ISO, 1999).

Para a liga TMA, o peso de uma mola registado em balança analítica foi de 0,078 gramas, o que para um volume de 5 mL de saliva, implicou a imersão de 12 molas por amostra. Relativamente à liga Aço, o número de molas exigido para 5 mL de saliva por amostra foi 8, uma vez que a cada mola correspondeu um peso de 0,121 gramas.

A duas amostras com 5 mL de saliva artificial, a pH 4 e pH 6,75, respetivamente, não foram imersas molas, servindo as mesmas como grupo de controlo.

Todas as amostras, devidamente identificadas, foram colocadas em estufa a 37°C em atmosfera húmida contendo 5% de CO₂ (EHRET® – BIOFASE 2 –IP 20 DIN 40050), pertencente ao serviço de Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP.

Terminado o tempo de imersão respeitante a cada amostra, efetuou-se a remoção das molas imersas, encaminhando-se de seguida os tubos de Falcon para o Departamento de Química da FEUP, para a pesquisa por espectrofotometria de absorção atómica.

Resultados

3. RESULTADOS

3.1. VARIÁVEL FORÇA E MOMENTO-

3.1.1. Variável força e momento – Fase 1

3.1.1.1. Variável força (g)

As médias e desvios padrão para a variável força (g) para os diferentes materiais e pré-ativações, para cada ativação são apresentados graficamente (gráfico 1) e na tabela em anexo (Tabela A1-anexo 3).

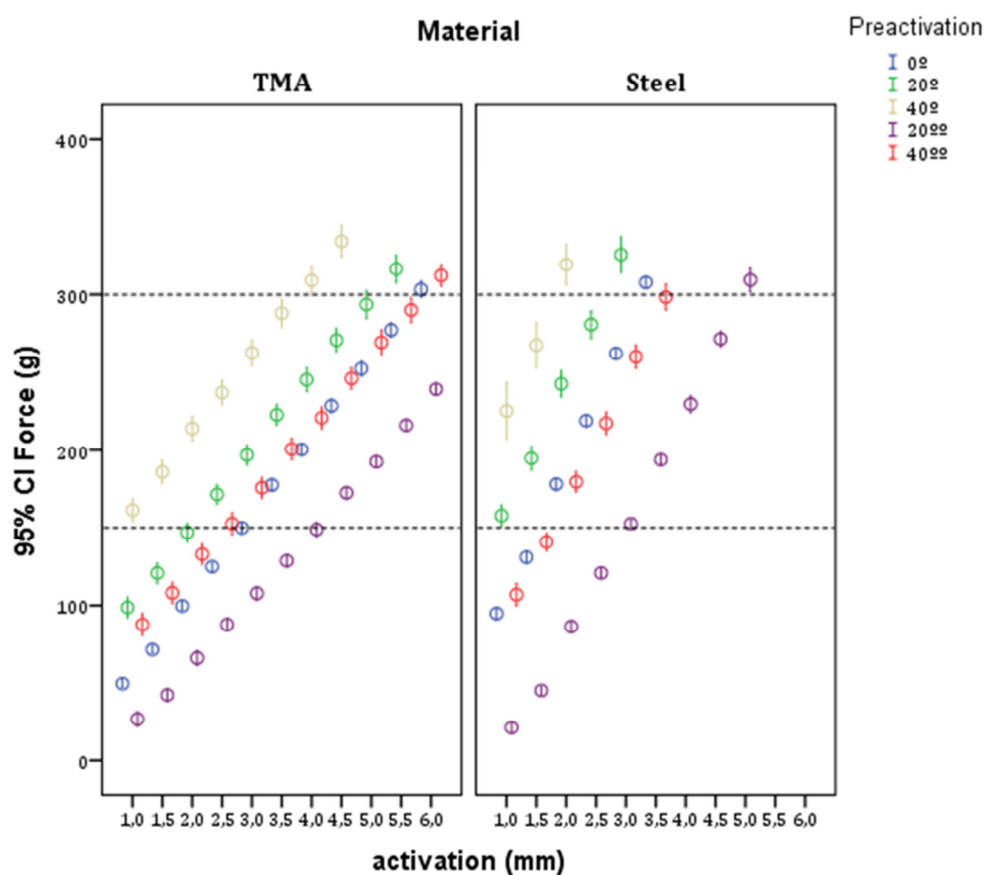


Gráfico 1. Variável força.

Analisando as médias da variável força para as diferentes combinações, verificou-se em todas, e para o mesmo nível de ativação, que o Aço produziu valores superiores ao TMA. A cada iteração da ativação, o valor registrado aumentou gradualmente.

O menor valor de força média registrada e em conformidade com as ilações anteriores verificou-se no TMA na ativação inicial. Esse valor foi de 26,90 g na pré-ativação 20°.

A pré-ativação com distribuição gengival (pré-ativação 20°) foi a que verificou os valores menores para a força, sucedendo-lhe por ordem crescente, as molas com pré-ativação de 0°. Os valores foram aumentando em função do aumento das dobras de pré-ativação em oclusal, respetivamente 20° e 40°. Na pré-ativação 40° os valores registados para a força foram superiores aos verificados na pré-ativação 0° mas inferiores à pré-ativação 20°.

Na ausência de pré-ativação na ativação inicial (1 mm), os valores registados arredondados sem casa decimal, foram 50g e 95 g para o TMA e aço respetivamente.

O valor mais elevado de força média registada não pode ser inferido em termos absolutos, por condição do presente estudo. A combinação que primeiro atingiu as condições limites do estudo foi a pré-ativação 40° em aço à terceira ativação (2 mm), com 319,30 g.

Só não se verificam diferenças estatisticamente significativas (valores assinalados por letras na tabela A1- anexo 3) na ativação 3 mm para a pré-ativação 20° e 40°, na ativação 3,5 mm para a pré-ativação 0° e 40°, na ativação 4 mm para a pré-ativação 0° e 20° e na ativação 4,5 mm a pré-ativação 20° e 40°.

3.1.1.2. Variável proporção momento/força (mm)

As médias e desvios padrão para a variável proporção momento/força (mm) para os diferentes materiais e pré-ativações, para cada ativação são apresentados graficamente (gráfico 2) e na tabela em anexo (tabela A2-anexo 3).

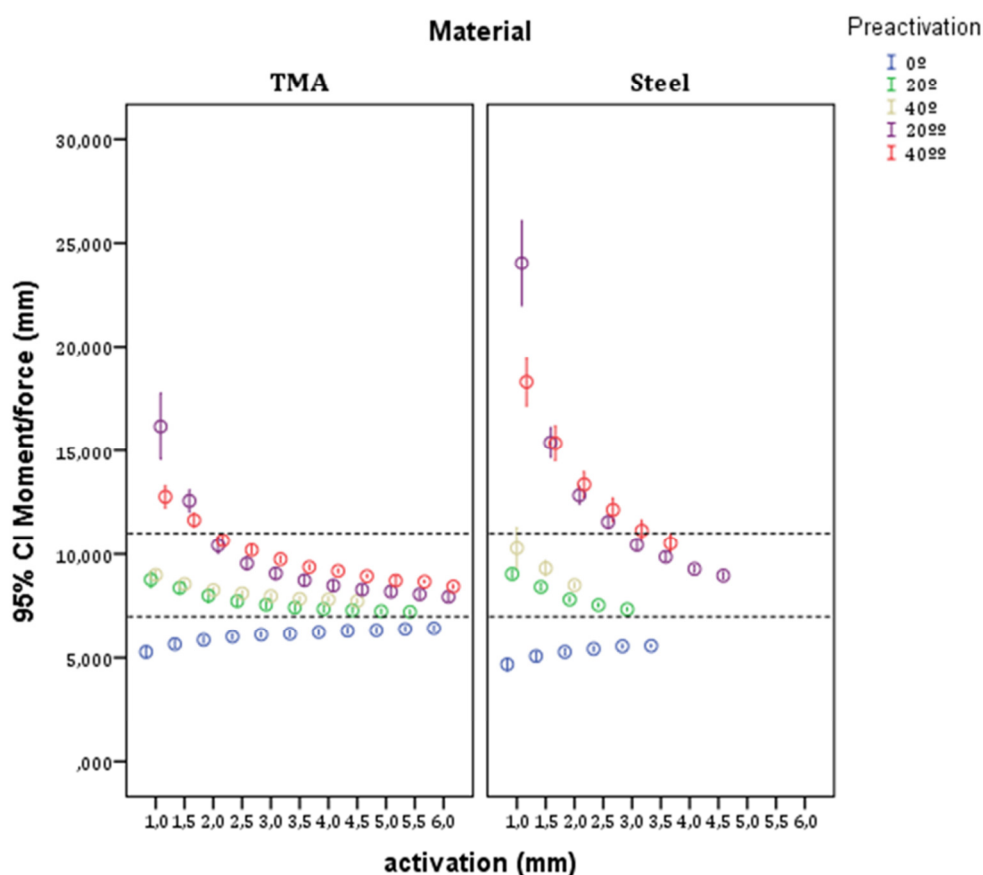


Gráfico 2. Variável proporção M/F.

3.1.1.2.1. Combinação sem pré-ativação

A pré-ativação 0° apresenta uma proporção M/F inferior a 7 mm (dimensão vertical), com o TMA a desenvolver sempre um valor mais elevado, comparativamente ao aço. O valor mais elevado foi 6,42 mm, para a mola em TMA com 6 mm de ativação e o valor menor foi de 4,15 mm, registado na ativação inicial da mola em aço. O valor da proporção M/F cresceu sempre com o aumento da ativação.

3.1.1.2.2. Combinações com pré-ativação

Na pré-ativação verificou-se uma diminuição da proporção M/F com o aumento da ativação. O aço desenvolveu uma proporção M/F mais elevada do que o TMA.

A proporção M/F registou os valores mais elevados na pré-ativação 20° com um máximo de 24,03 mm para a mola em aço na ativação 1 mm. A partir da ativação 2 mm, a pré-ativação 40°, apresentou valores ligeiramente superiores aos da pré-ativação 20°.

As pré-ativações 20° e 40° apresentaram valores inferiores às pré-ativações 20° e 40°. O acréscimo de 20° de pré-ativação presente na pré-ativação 40° resultou num aumento da proporção M/F.

O valor mínimo registado de proporção M/F foi de 7,35 mm (superior à dimensão vertical), para a mola em aço com pré-ativação 20°, ativada em 3 mm.

Os valores que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas estão assinalados com letras na tabela em anexo (Tabela A2-anexo 3). Só não existem diferenças na ativação 1 mm para a pré-ativação 20° e 40°. Na ativação 1,5 mm para a pré-ativação 20° e 40° e ainda entre a pré-ativação 20° e 40° na ativação 1,5 mm e 2 mm.

3.1.1.3. Exatidão e precisão do método

Os resultados da análise da exatidão e precisão das variáveis força e momento, mensurados pelo aparelho encontram-se resumidos na tabela 13.

Variável	n	Valor verdadeiro	Média	Desv.Pad.	I.C. (95%)	Teste t-Student
Força	10	100	99,8	1,317	99,8 ± 0,9418	p=0,642>0,05
Medição	10	300	302,3	2,983	302,3 ± 2,1341	p=0,037<0,05

Tabela 13. Análise da exatidão e precisão do aparelho

Relativamente à força, verifica-se não existirem diferenças estatisticamente significativas, quanto ao valor de 100 (p>0,05). No que diz respeito ao momento, existem, ao nível de 5%, diferenças significativas relativamente ao valor de 300 (p<0,05). No entanto, estas diferenças não seriam estatisticamente significativas para um nível de 1% (p>0,01). Pode-se considerar, por isso, adequada a exatidão das medições, apesar da ligeira tendência de sobrevalorização observada nas medições do momento.

Em termos de precisão, verifica-se que, a grandeza dos erros associados às medições efetuadas, é muito inferior às diferenças obtidas na análise dos diversos fatores em estudo; isto é, as diferenças observadas, caso existam, deverão ser o resultado do efeito dos fatores em análise e não o resultado de erros de medição.

3.1.2. Força e momento após imersão em saliva – fase 2

3.1.2.1. Molas de aço

3.1.2.1.1. PH4

3.1.2.1.1.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força, indicados no quadro em anexo (Quadro A3-anexo3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em 8 casos (ativação inicial 1.5, 2, 2.5 e 3 para a duração de 1 mês; ativação inicial 2.5 e 3.5 para a duração de 3 meses e ativação inicial de 1.5 e 3 para a duração de 5 meses), pelo que existem 10 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A4-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. O valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se conclui que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, a força média diminui em todos os casos.

Por fim representa-se graficamente (gráfico 3) a força média e a diferença média para as três durações.

A média e o desvio padrão da força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença) são apresentados descritivamente no quadro em anexo (Quadro A5-anexo 3).

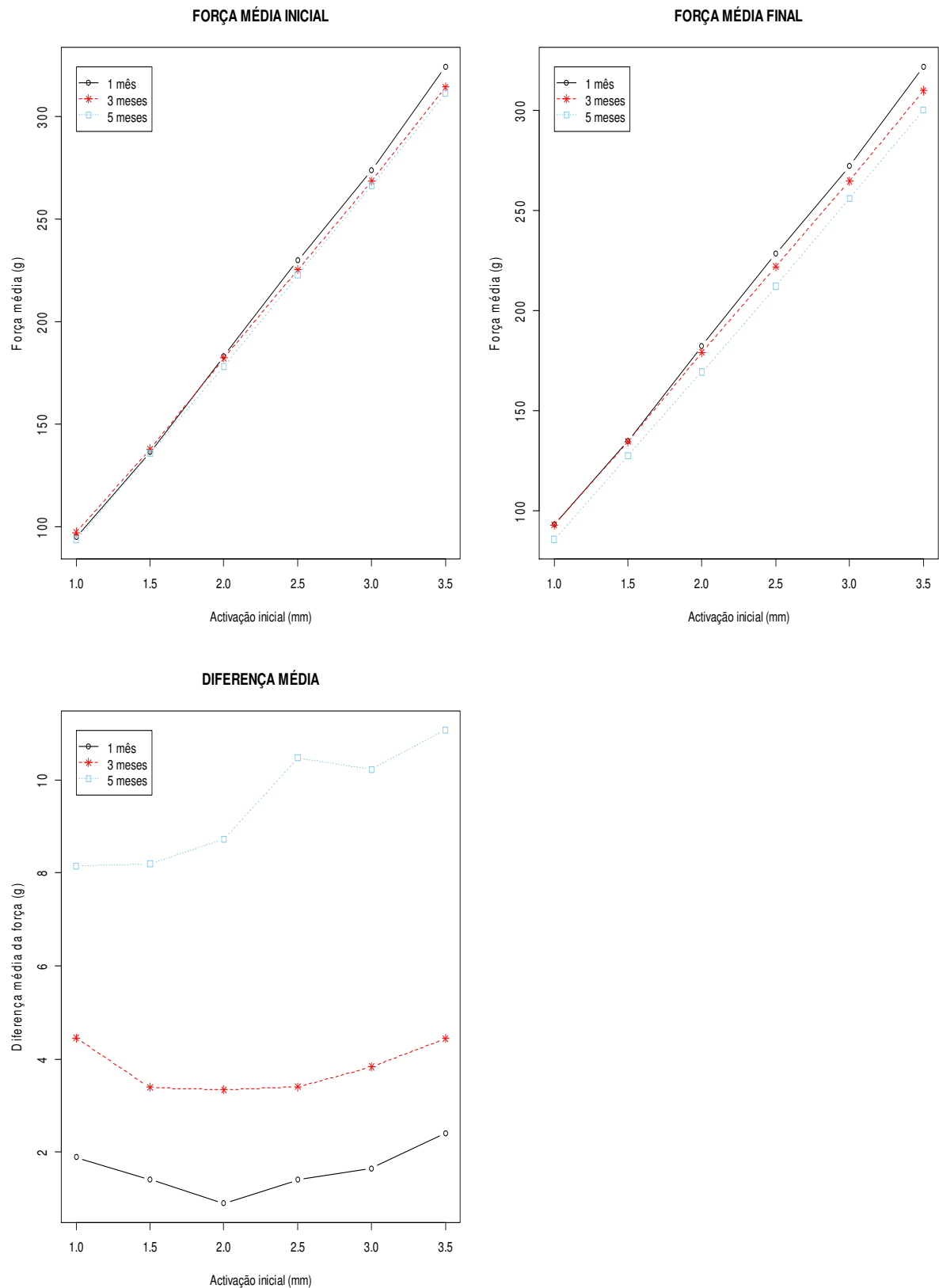


Gráfico 3. Representação Gráfica da Força Média e da Diferença Média (Aço) – pH4

3.1.2.1.1.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento, indicados no quadro em anexo (Quadro A6-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 3 casos (ativação inicial 1.5 para a duração de 1 mês e ativação inicial 1.5 e 3 para a duração de 3 meses), pelo que existem 16 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro 7-anexo 3) seguinte. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos), consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados diferem conforme as durações:

- Para a duração de 1 mês e ativação inicial de 1.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%); para a ativação inicial de 1, a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui (valor-p inferior a 5%); para as restantes ativações iniciais, a diferença média é significativa, mas de sinal negativo (contrariamente ao que sucede com a força), ou seja, o momento médio aumenta (por este motivo, a hipótese alternativa do teste teve que ser alterada em conformidade).
- Para a duração de 3 meses e ativações iniciais de 1 e 1.5, a diferença média é significativa, ou seja, que o momento médio diminui (valor-p inferior a 5%); para as restantes ativações iniciais, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%).
- Para a duração de 5 meses, verifica-se, para todas as ativações iniciais, que a diferença média é significativa, ou seja, que o momento médio diminui.

Os gráficos seguintes (gráficos 4) representam o momento médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A8-anexo3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).

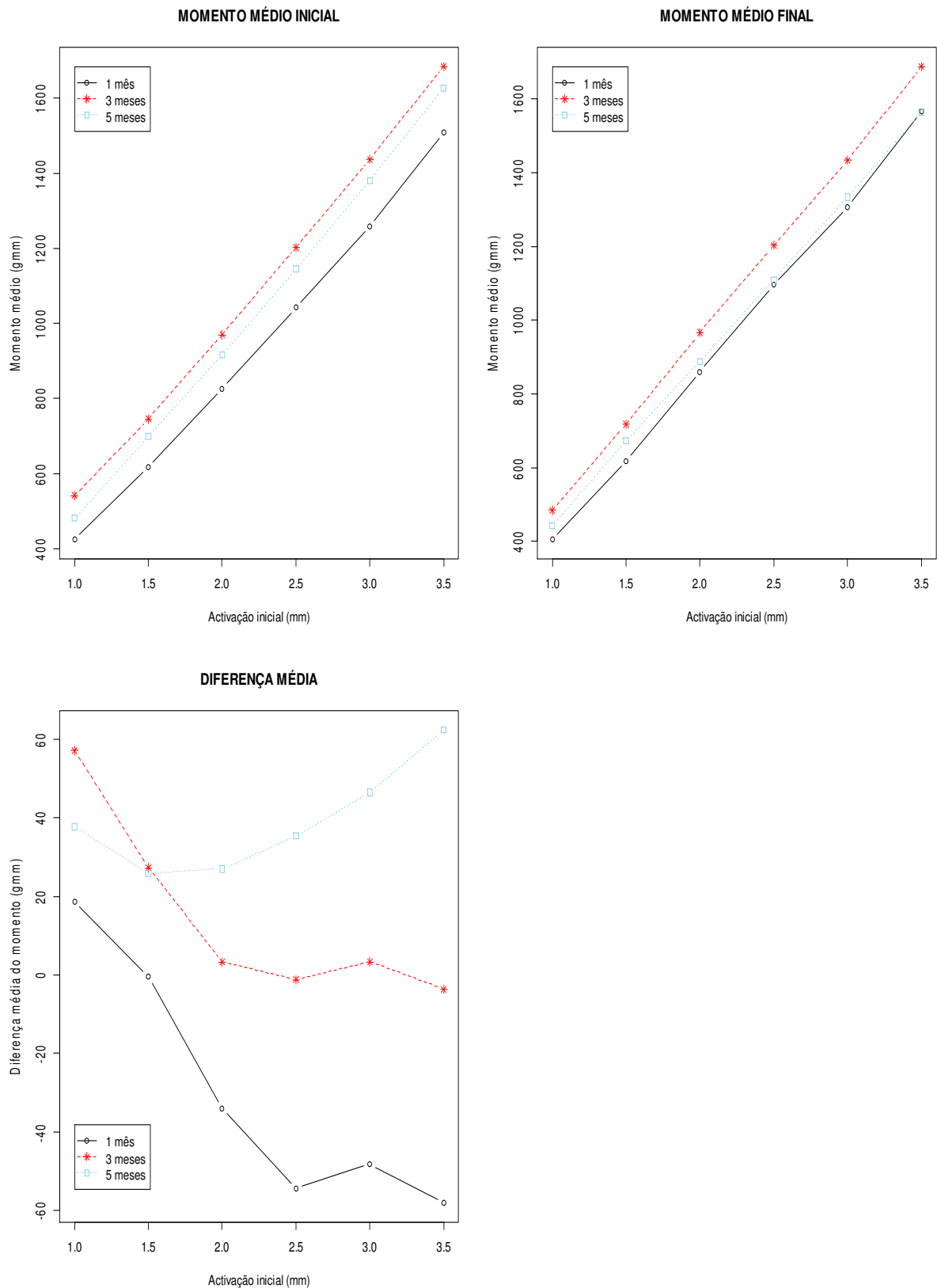


Gráfico 4. Representação Gráfica do Momento Médio e da Diferença Média (Aço) – PH4

3.1.2.1.1.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força, indicados no quadro em anexo (Quadro A9-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em 7 casos (ativação inicial 1.5 para a duração de 1 mês, ativação inicial 1.5 e 3 para a duração de 3 meses e ativação inicial 2, 2.5 e 3 para a duração de 5 meses), pelo que existem 11 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A10-anexo3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados diferem conforme as durações:

- Para a duração de 1 mês e ativações iniciais de 1 e 1.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%).
- Para a duração de 3 meses e ativação inicial de 1, verifica-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%); para a ativação inicial de 1.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e negativa, ou seja, que o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%).
- Para a duração de 5 meses e ativações iniciais de 1, 3 e 3.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e negativa, ou seja, que o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%).

Os gráficos seguintes (gráficos 5) representam o momento/força médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A11-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento/força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).

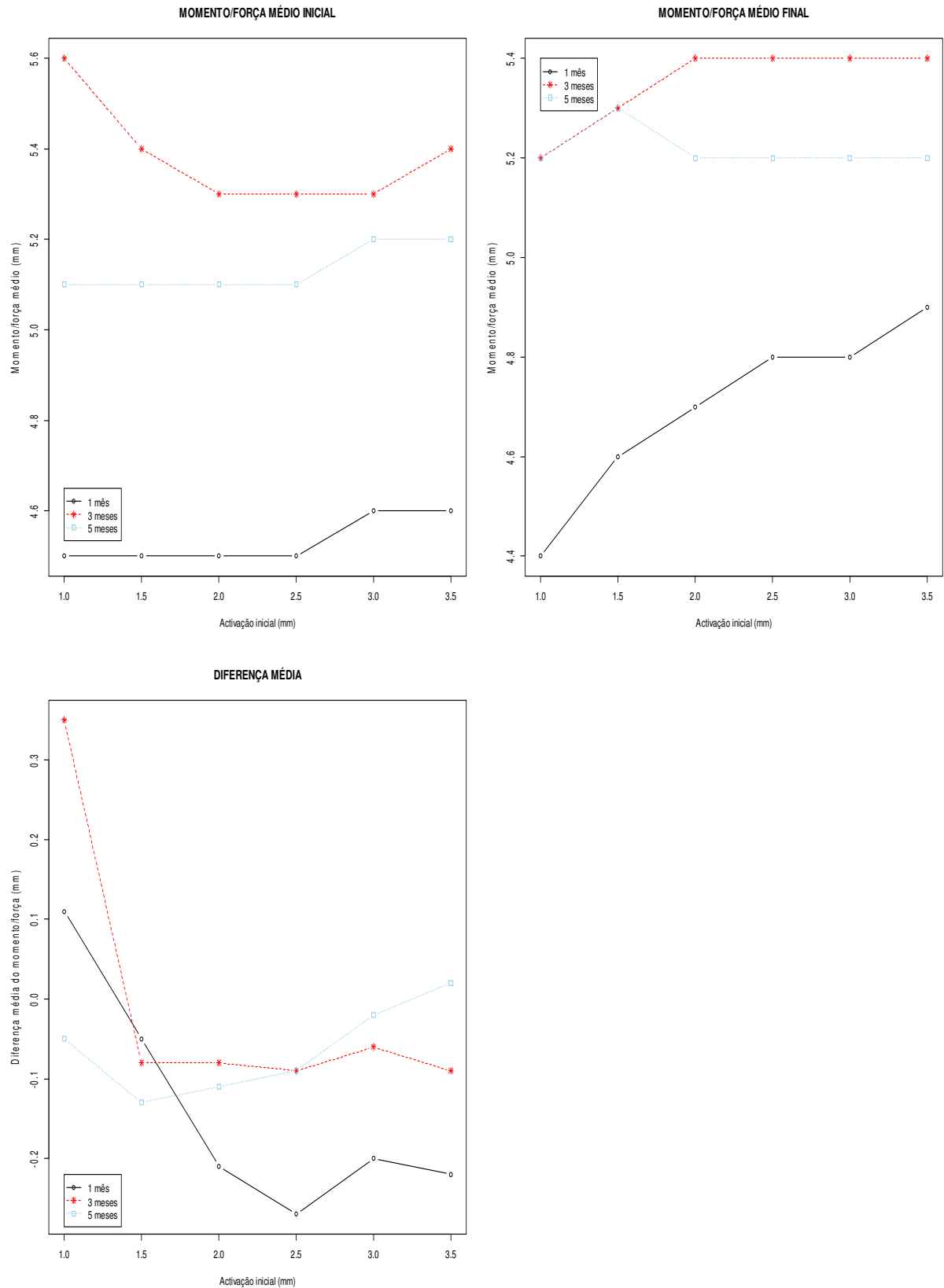


Gráfico 5. Representação Gráfica do Momento/Força Médio e da Diferença Média (Aço) – pH4

3.1.2.1.2. pH 6.75

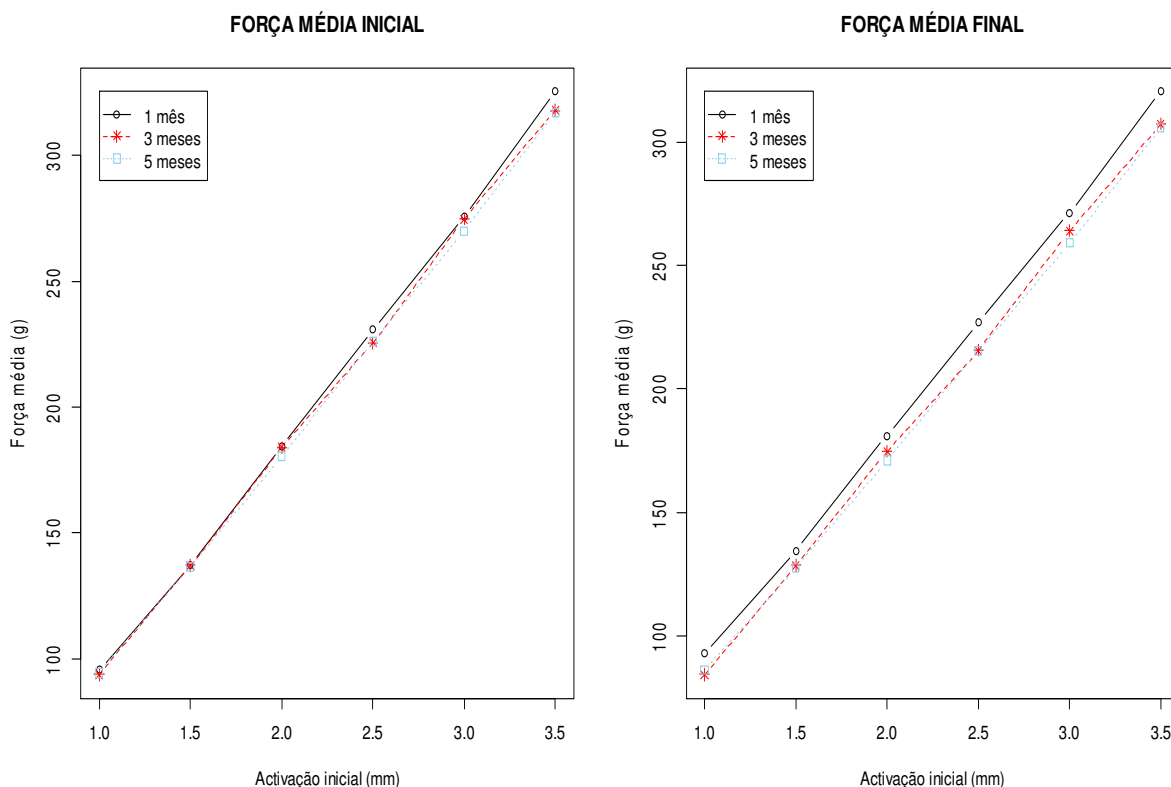
3.1.2.1.2.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força, indicados no quadro em anexo (Quadro A12–anexo 3) seguinte, rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em 3 casos apenas (ativação inicial 1, 2 e 3 para a duração de 3 meses), pelo que se obtém resultado contrário em todos os outros 15 casos.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A13-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada (o que sucedeu em 15 casos, conforme concluído acima) ou o tenha sido (apenas em 3 casos). Tal como para o PH4, o valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se conclui que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, a força média diminui em todos os casos.

Os gráficos seguintes (gráficos 6) representam a força média e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A14-anexo3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



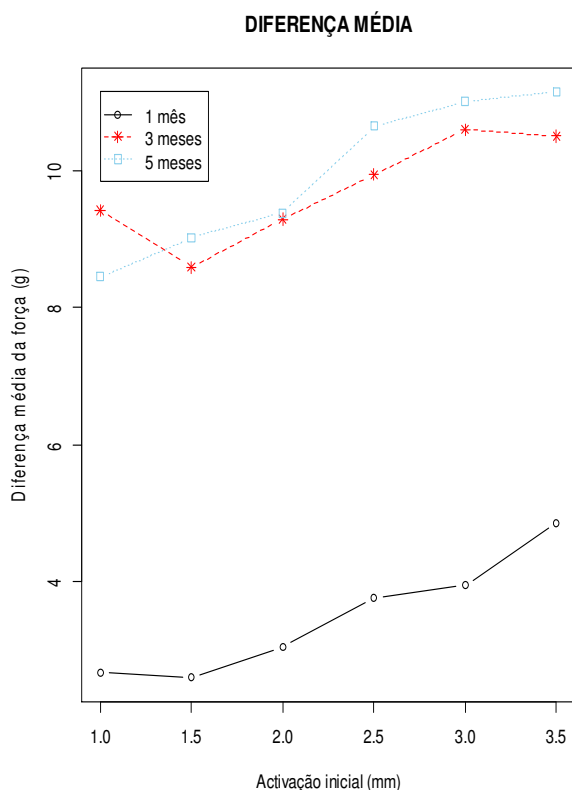


Gráfico 6. Representação Gráfica da Força Média e da Diferença Média (Aço) – pH 6.75

3.1.2.1.2.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento, indicados no quadro em anexo (Quadro A15-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 5 casos (ativação inicial 3 para a duração de 1 mês; ativação inicial 3 e 3.5 para a duração de 3 meses e ativação inicial 3.5 para a duração de 5 meses), pelo que existem 13 casos em que se obtém resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A16- anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos), consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada (13 casos), ou o tenha sido (5 casos). Os resultados diferem conforme as durações (tal como para o pH4):

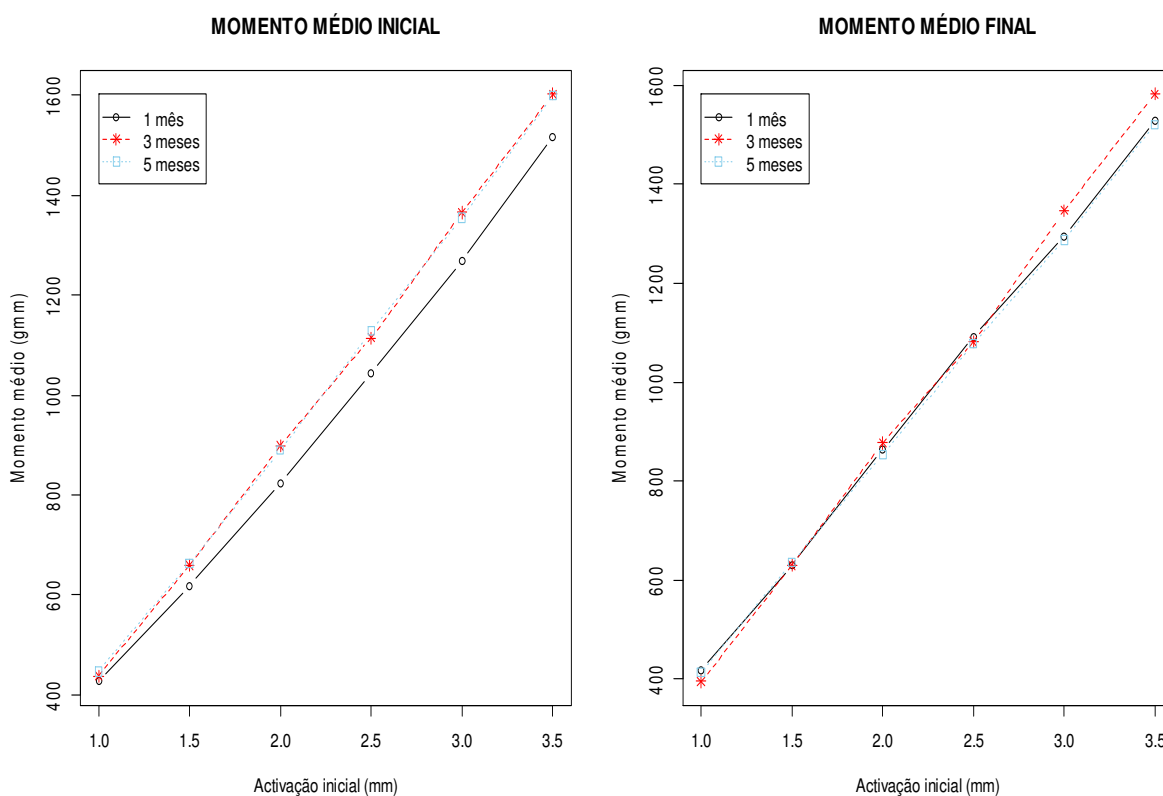
- Para a duração de 1 mês e ativação inicial de 1, conclui-se que a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui (valor-p inferior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa, mas de sinal negativo (contrariamente ao que sucede com a força), ou seja, o momento médio

aumenta (por este motivo, a hipótese alternativa do teste teve que ser alterada em conformidade, tal como sucedeu com o pH4).

- Para a duração de 3 meses e ativação inicial de 3.5, verifica-se que a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%); para todas as outras ativações iniciais, a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui (valor-p inferior a 5%).
- Para a duração de 5 meses, conclui-se, para todas as ativações iniciais, que a diferença média é significativa, ou seja, que o momento médio diminui.

Os gráficos seguintes (gráficos 7 representam o momento médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A17-anexo3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



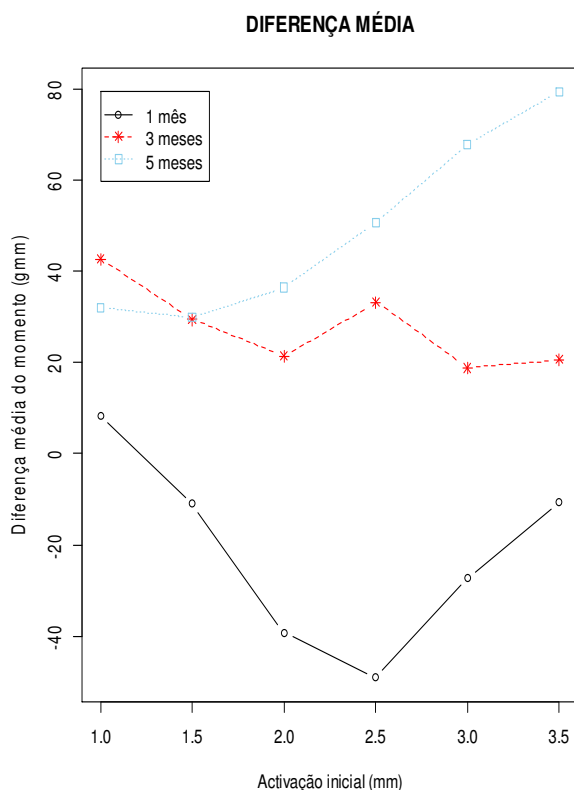


Gráfico 7. Representação Gráfica do Momento Médio e da Diferença Média (Aço) – pH 6.75

3.1.2.1.2.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força, indicados no quadro em anexo (Quadro A18-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 5 casos (ativação inicial 2, 2.5, 3 e 3.5 para a duração de 3 meses e ativação inicial 1 para a duração de 5 meses), pelo que existem 13 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A19-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados diferem conforme as durações:

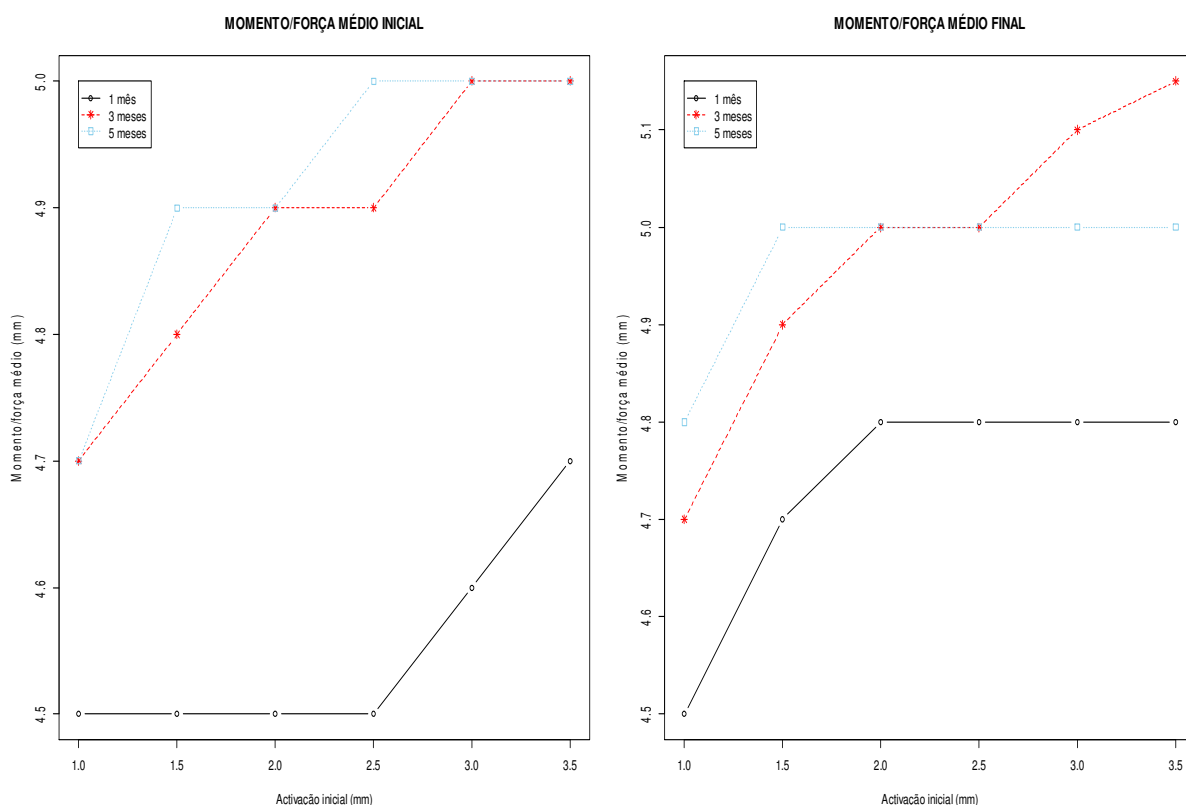
- Para as durações de 1 mês e de 3 meses e ativação inicial de 1, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se

que a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%).

- Para a duração de 5 meses e ativação inicial de 2.5, verifica-se que a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para a ativação inicial de 3 e 3.5, verifica-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%); para a ativação inicial de 1, 1.5 e 2, a diferença média é significativa e negativa, ou seja, o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%);

Os gráficos seguintes (gráficos 8) representam o momento/força médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A20-anexo3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento/força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



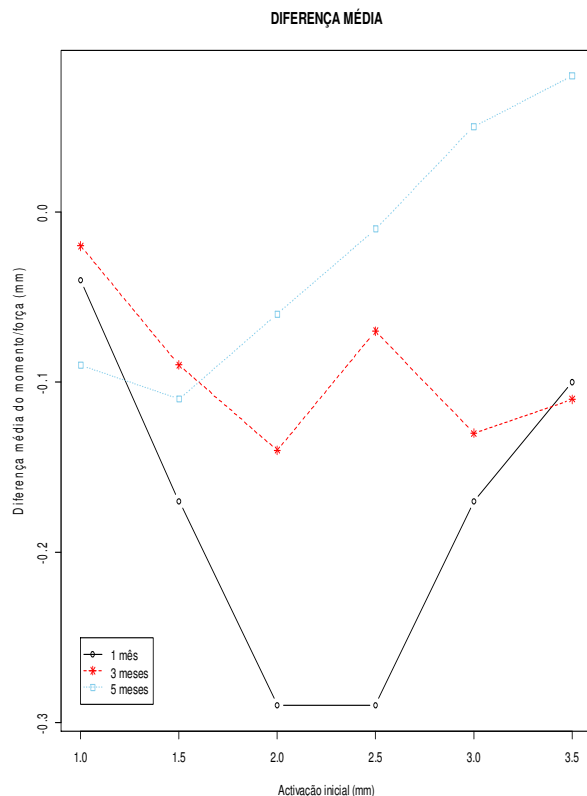


Gráfico 8. Representação Gráfica do Momento/Força Médio e da Diferença Média (Aço) – PH6.75

3.1.2.1.3. Determinação das causas das diferenças

3.1.2.1.3.1. Força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da força, são a ativação inicial (distinguindo-se as ativações 2.5, 3 e 3.5), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). A tabela seguinte (Tabela 14) mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 2.5 mm	0.888	5.152	0.000	[0.550,1.226]
Ativação inicial – 3 mm	1.154	6.695	0.000	[0.816,1.492]
Ativação inicial – 3.5 mm	1.691	9.814	0.000	[1.353,2.029]
PH6.75	2.751	22.574	0.000	[2.511,2.990]
Tempo – 3 meses	4.219	28.270	0.000	[3.926,4.511]
Tempo – 5 meses	7.163	47.999	0.000	[6.870,7.456]

Tabela 14. Influência dos Fatores Experimentais na Força – Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.734 e 0.732 e a estatística F de Snedcor (6 e 1073 graus de liberdade) da significância global da regressão é 492.8, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma boa qualidade do ajustamento. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.55). Os resíduos de estimação estão próximos da normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte (gráfico 9) (o pequeno desvio em relação à normalidade deve-se à existência de um resíduo anormalmente elevado em valor absoluto e que será ignorado por não ter significado).

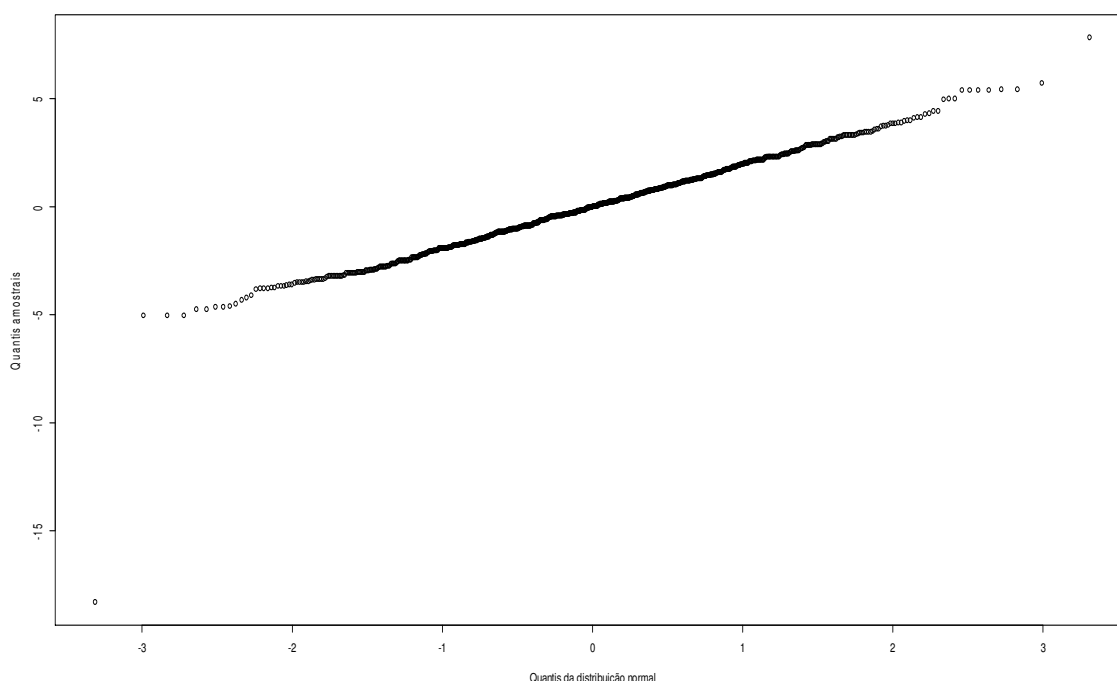


Gráfico 9. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Força) – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, as estimativas dos parâmetros permitem observar o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, verifica-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é superior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 2, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.888 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.55 g e 1.226 g). De forma semelhante, verifica-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 é superior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 2, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em

média, 1.154 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.816 g e 1.492 g). Verifica-se ainda que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é superior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 2, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 1.691 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 1.353 g e 2.029 g). Em resumo, conclui-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 2, que não se distinguem entre si e cuja diferença é a mais fraca. Logo, constata-se que a diferença da força aumenta com a ativação inicial, sendo que a diferença para a ativação inicial de 1, de 1.5 e de 2 é igual.

- Relativamente ao pH, observa-se que a diferença da força das molas sujeitas a pH6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 2.751 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 2.511 g e 2.990 g).
- Relativamente ao tempo, observa-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 4.219 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 3.926 g e 4.511 g). De forma semelhante, verifica-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 7.163 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 6.870 g e 7.456 g). Em resumo, constata-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 3 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca. Logo, verifica-se que a diferença da força aumenta com a duração do tempo.

3.1.2.1.3.2. Momento

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). A tabela 15 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 1.5 mm	-15.891	-4.325	0.000	[-23.101,-8.682]
Ativação inicial – 2 mm	-30.268	-8.238	0.000	[-37.478,-23.059]
Ativação inicial – 2.5 mm	-30.313	-8.250	0.000	[-37.523,-23.104]
Ativação inicial – 3 mm	-22.567	-6.142	0.000	[-29.776,-15.357]
Ativação inicial – 3.5 mm	-17.759	-4.833	0.000	[-24.968,-10.549]
PH6.75	10.479	4.940	0.000	[6.316, 14.641]
Tempo – 3 meses	46.444	17.876	0.000	[41.346,51.542]
Tempo – 5 meses	69.671	26.816	0.000	[64.573,74.769]

Tabela 15. Influência dos Fatores Experimentais no Momento– Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.447 e 0.443 e a estatística F de Snedcor (8 e 1071 graus de liberdade) da significância global da regressão é 108.1, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma razoável qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é apenas moderado). Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.58). Os resíduos de estimação apresentam apenas um pequeno desvio em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte (gráfico 10)

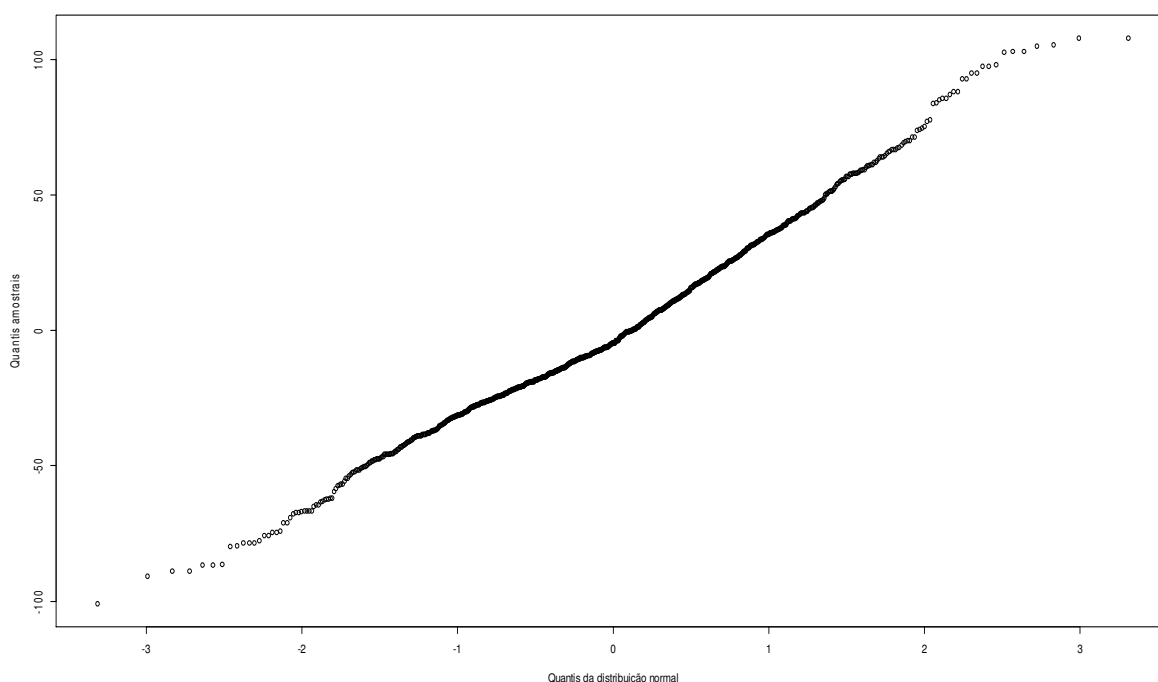


Gráfico 10. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Momento) – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, as estimativas dos parâmetros permitem observar o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, verifica-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 15.891 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -23.101 gmm e -8.682 gmm). De forma semelhante, observa-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 30.268 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -37.478 gmm e -23.059 gmm). Verifica-se também que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 30.313 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -37.523 gmm e -23.104 gmm). Observa-se ainda que a diferença do momento das molas sujeitas a

uma ativação inicial de 3 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 22.567 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -29.776 gmm e -15.357 gmm). Observa-se mais ainda que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 17.759 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -24.968 gmm e -10.549 gmm). Em resumo, verifica-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 é a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5, cuja diferença é a menor de todas.

- Relativamente ao pH, observa-se que a diferença do momento das molas sujeitas a pH6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 10.479 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 6.316 gmm e 14.641 gmm).
- Relativamente ao tempo, observa-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 46.444 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 41.346 gmm e 51.542 gmm). De forma semelhante, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 69.671 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 64.573 gmm e 74.769 gmm). Em resumo, observa-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 3 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca. Logo, a diferença do momento aumenta com a duração do tempo.

3.1.2.1.3.3. Momento/força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento/força são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). A tabela 16 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 1.5 mm	-0.123	-6.348	0.000	[-0.161,-0.085]
Ativação inicial – 2 mm	-0.190	-9.800	0.000	[-0.228,-0.152]
Ativação inicial – 2.5 mm	-0.180	-9.250	0.000	[-0.218,-0.141]
Ativação inicial – 3 mm	-0.133	-6.871	0.000	[-0.171,-0.095]
Ativação inicial – 3.5 mm	-0.114	-5.872	0.000	[-0.152,-0.076]
PH6.75	-0.036	-3.201	0.001	[-0.058,-0.014]
Tempo – 3 meses	0.119	8.677	0.000	[0.092,0.146]
Tempo – 5 meses	0.114	8.293	0.000	[0.087,0.141]

Tabela 16. Influência dos Fatores Experimentais no Momento/Força– Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.176 e 0.17 e a estatística F de Snedcor (8 e 1071 graus de liberdade) da significância global da regressão é 28.6, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma fraca qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.58). Os resíduos de estimação apresentam apenas um pequeno desvio em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte. (gráfico 11)

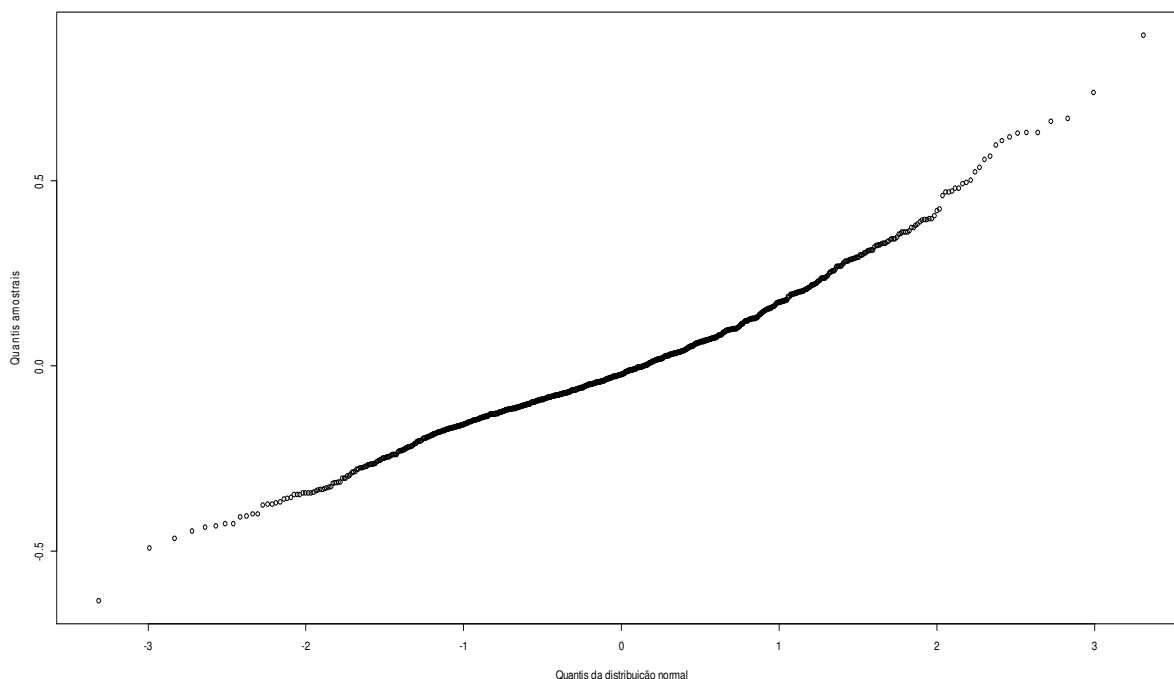


Gráfico 11. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Momento/Força) – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, as estimativas dos parâmetros permitem observar o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, verifica-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.123 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.161 mm e -0.085 mm). De forma semelhante, observa-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.19 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.228 mm e -0.152 mm). Constata-se também que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.18 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.218 mm e -0.141 mm). Verifica-se-se ainda que a diferença do momento/força das molas sujeitas

a uma ativação inicial de 3 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.133 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.171 mm e -0.095 mm). A diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.114 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.152 mm e -0.076 mm). Em resumo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 é a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, cuja diferença é a menor de todas.

- Relativamente ao pH, constata-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a pH6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.036 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.058 mm e -0.014 mm).
- Relativamente ao tempo, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.119 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.092 mm e 0.146 mm). De forma semelhante, constata-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.114 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.087 mm e 0.141 mm). Em resumo, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca.

3.1.2.2. Molas de TMA

Executa-se para as molas de TMA uma experiência análoga à das molas de aço, com os mesmos procedimentos e condições. Consequentemente, a análise é desenvolvida seguindo as mesmas linhas.

3.1.2.2.1. pH4

3.1.2.2.1.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força, indicados no quadro em anexo (Quadro A21-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 4 casos (ativação inicial 4.5 e 5 para a duração de 1 mês e ativação inicial 5 para as durações de 3 meses e de 5 meses), pelo que existem 23 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A22-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. O valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se conclui que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, a força média diminui em todos os casos.

Os gráficos seguintes (gráficos 12) representam a força média e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A23-anexo3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).

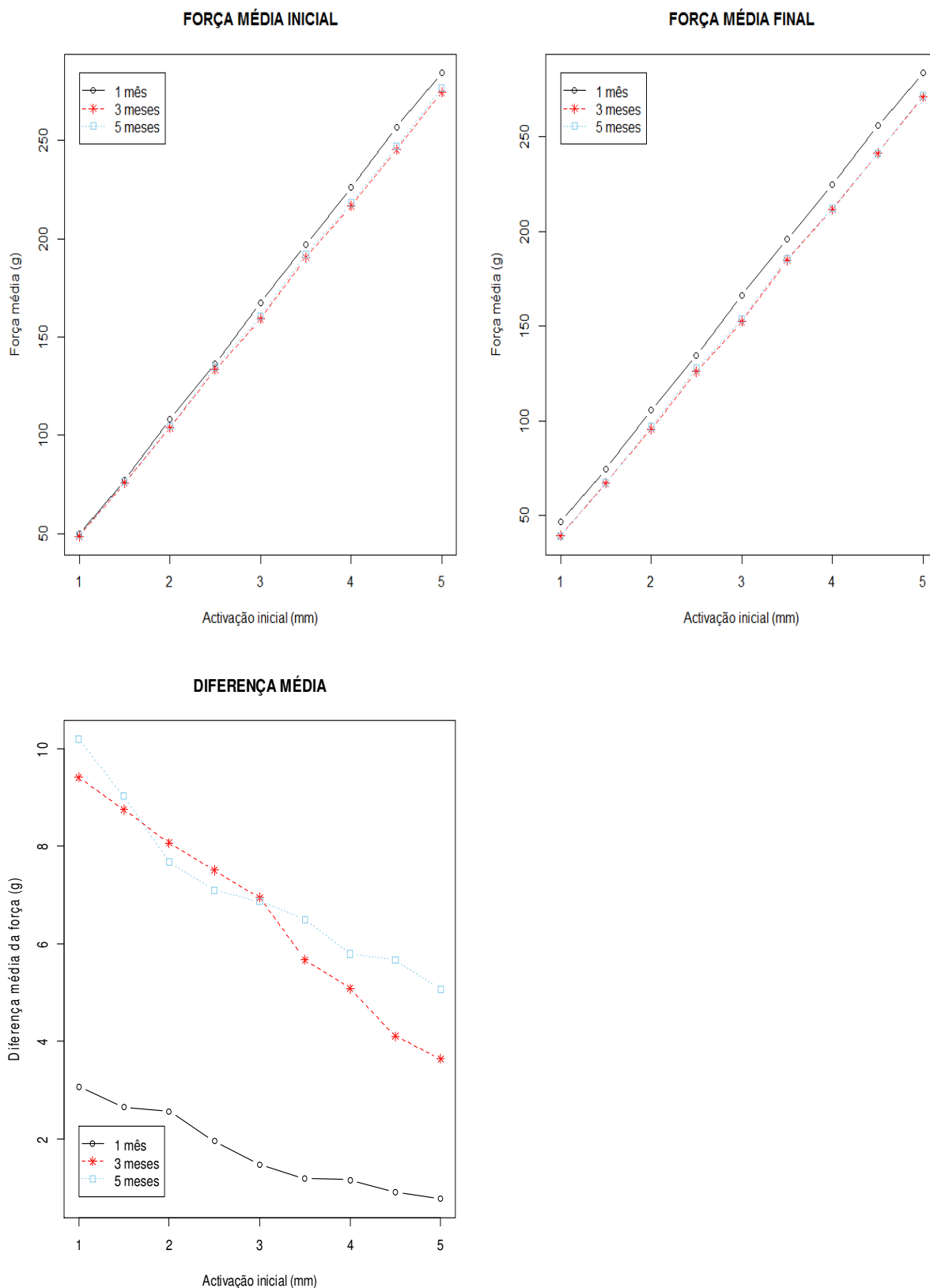


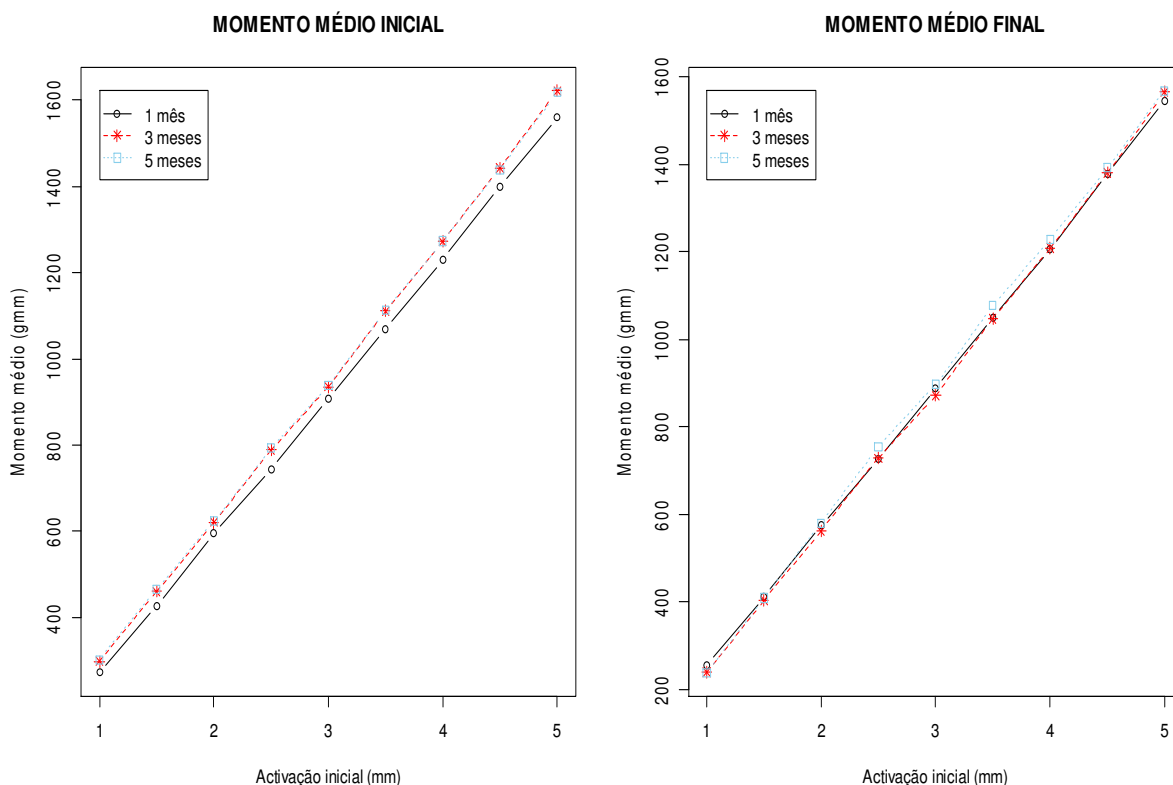
Gráfico 12. Representação Gráfica da Força Média e da Diferença Média (TMA) – PH4

3.1.2.2.1.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento, indicados no quadro em anexo (Quadro A24-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 2 casos (ativação inicial 2 para a duração de 3 meses e ativação inicial 3 para a duração de 5 meses), pelo que existem 25 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A25-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. O valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se conclui que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, o momento médio diminui em todos os casos. Os gráficos seguintes (gráficos 13) representam o momento médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A26-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



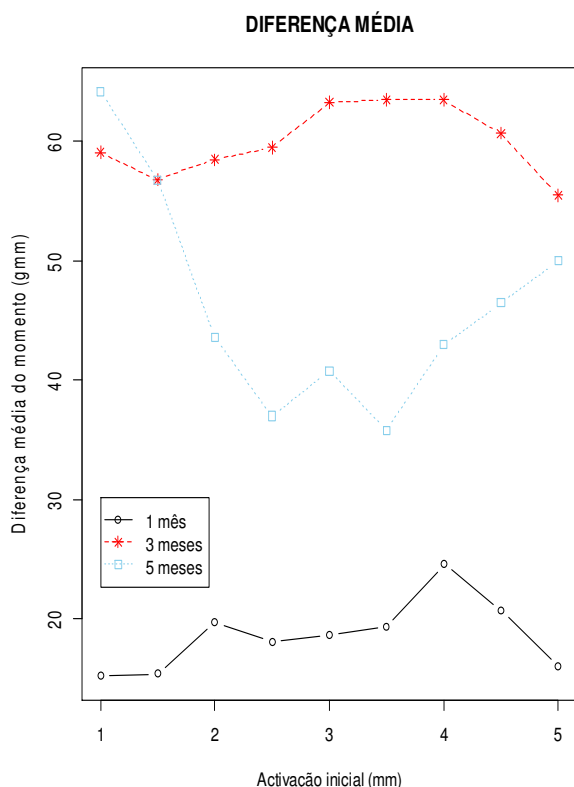


Gráfico 13. Representação Gráfica do Momento Médio e da Diferença Média (TMA) – PH4

3.1.2.2.1.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força, indicados no quadro em anexo (Quadro A27-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 2 casos (ativação inicial 2 para a duração de 3 meses e ativação inicial 1.5 para a duração de 5 meses), pelo que existem 25 casos em que se obtém o resultado contrário.

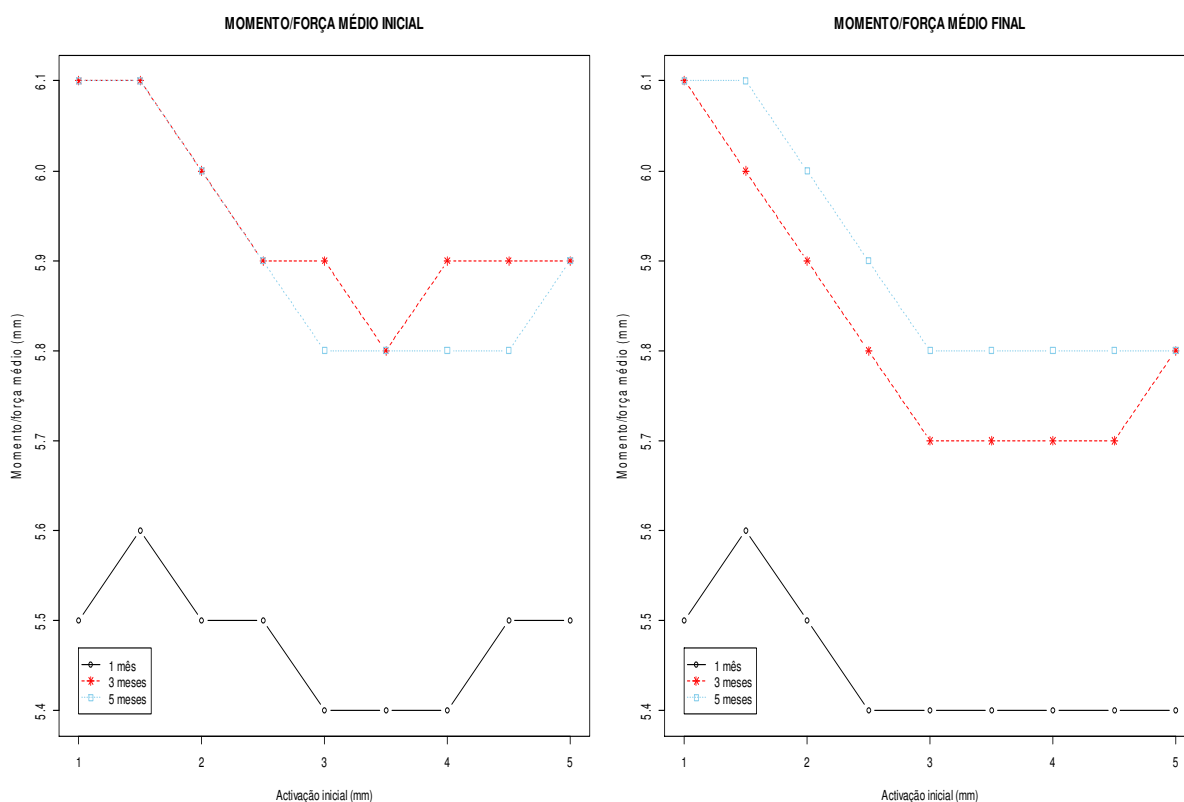
Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A28-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados diferem conforme as durações:

- Para a duração de 1 mês e ativações iniciais de 1 e 1.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e de sinal positivo, ou seja, constata-se que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).

- Para a duração de 3 meses e ativação inicial de 1 e 1.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).
- Para a duração de 5 meses e ativações iniciais de 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).

Os gráficos seguintes (gráficos 14) representam o momento/força médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A29-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento/força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



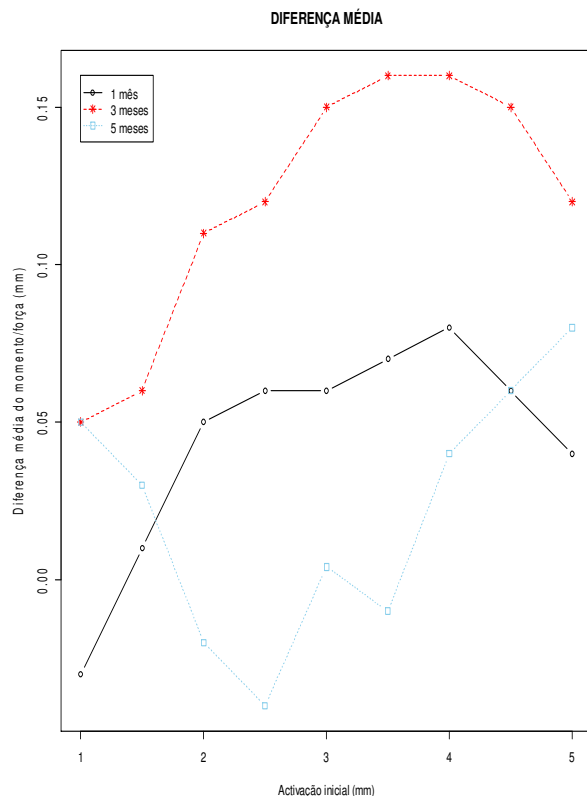


Gráfico 14. Representação Gráfica do Momento/Força Médio e da Diferença Média do (TMA) – PH4

3.1.2.2.2. pH6.75

3.1.2.2.2.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força, indicados no quadro em anexo (Quadro A30-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em 7 casos (ativação inicial 3.5, 4.5 e 5 para a duração de 1 mês; ativação inicial 1.5, 3.5 e 4.5 para a duração de 3 meses e ativação inicial 5 para a duração de 5 meses), pelo que existem 20 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A31-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. O valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se verifica que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, a força média diminui em todos os casos.

Os gráficos seguintes (gráficos 15) representam a força média e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A32-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).

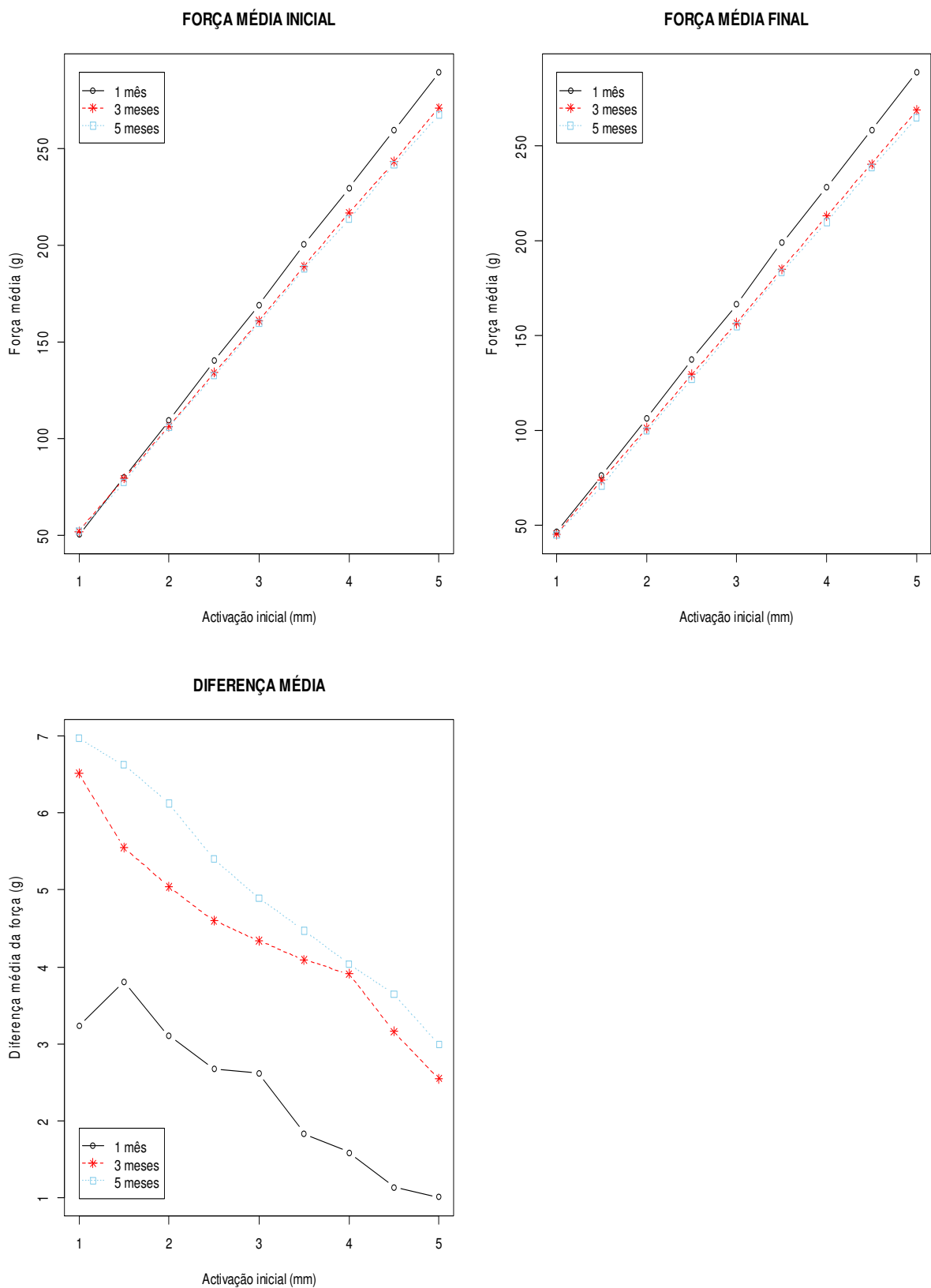


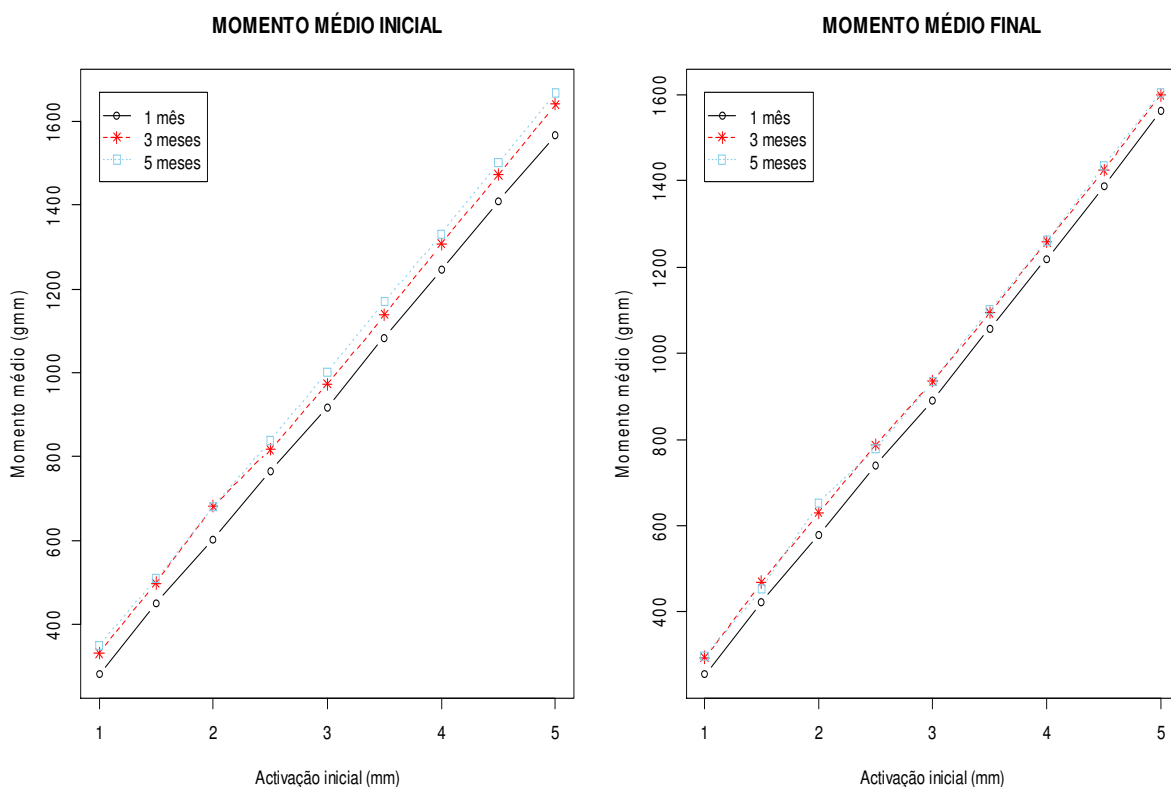
Gráfico 15. Representação Gráfica da Força Média e da Diferença Média (TMA) – PH6.75

3.1.2.2.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento, indicados no quadro em anexo (Quadro A33-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em 8 casos (ativação inicial 4.5 e 5 para a duração de 1 mês; ativação inicial 2, 3.5, 4 e 5 para a duração de 3 meses e ativação inicial 1 e 2 para a duração de 5 meses), pelo que existem 19 casos em que se obtém o resultado contrário.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A34-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. O valor-p do teste é sempre aproximadamente zero, pelo que se verifica que as diferenças médias são significativas para todas as durações e ativações iniciais, ou seja, o momento médio diminui em todos os casos. Os gráficos seguintes (gráficos 16) representam o momento médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A35-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



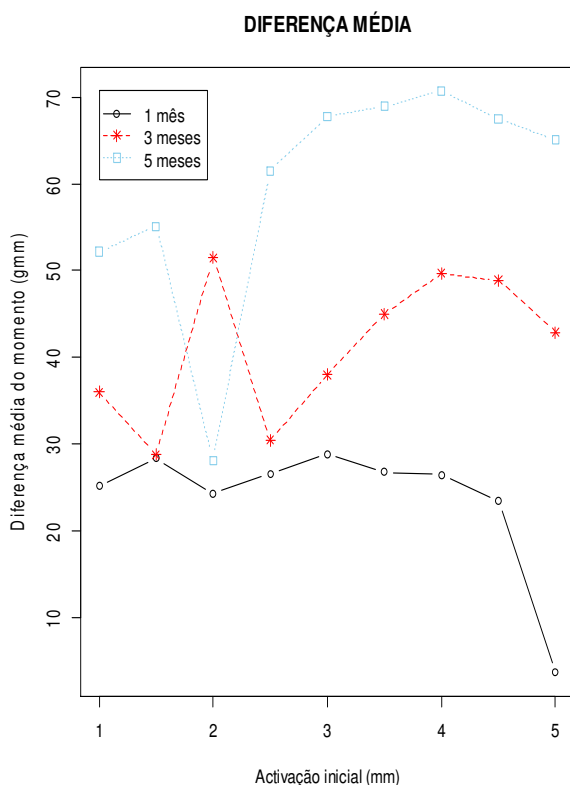


Gráfico 16. Representação Gráfica do Momento Médio e da Diferença Média (TMA) – PH6.75

3.1.2.2.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força, indicados no quadro em anexo (Quadro A36-anexo 3), rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) em apenas 5 casos (ativação inicial 1.5 e 5 para a duração de 1 mês; ativação inicial 2 e 4 para a duração de 3 meses e ativação inicial 2 para a duração de 5 meses), pelo que existem 20 casos em que se obtém a conclusão contrária.

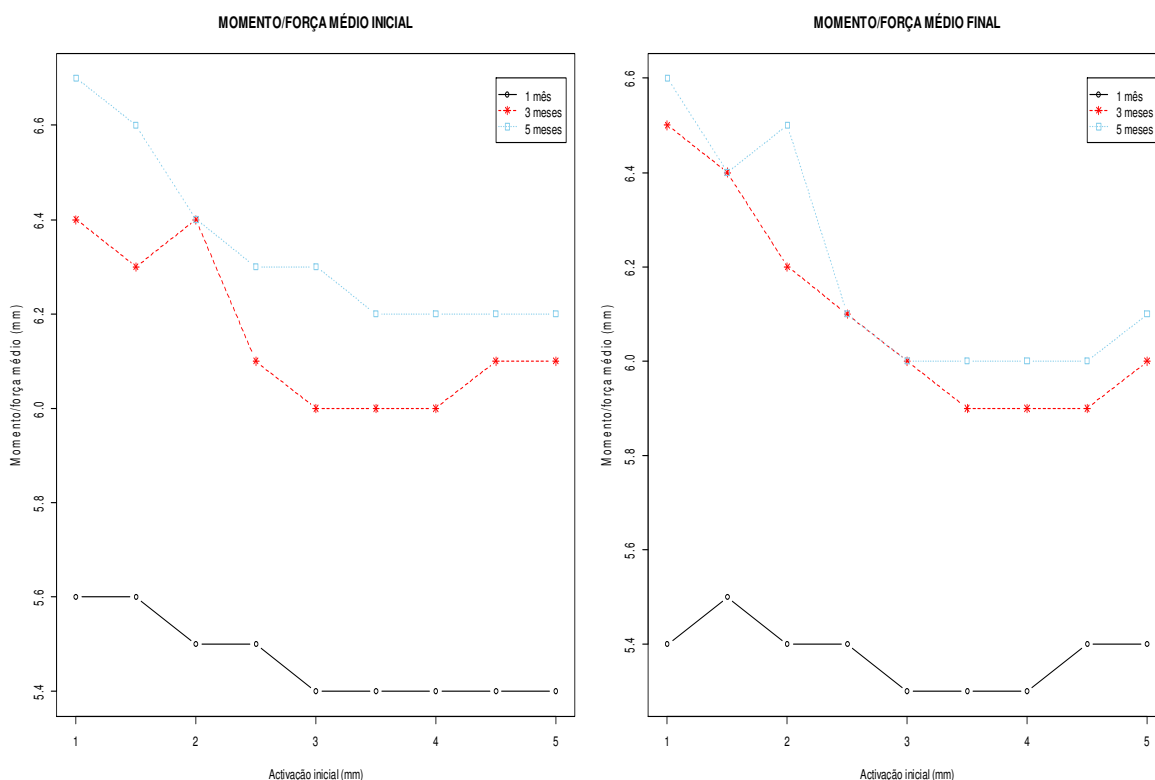
Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A37-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. As conclusões diferem conforme as durações:

- Para a duração de 1 mês e para a ativação inicial de 5, constata-se que a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, que o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%); para as restantes ativações iniciais, verifica-se que a diferença média é significativa e de sinal positivo, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).

- Para a duração de 3 meses e ativação inicial de 2.5, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%); para as ativações iniciais de 1, 1.5 e 2, observa-se que a diferença média é significativa e negativa, ou seja, conclui-se que o momento/força médio aumenta (valor-p inferior a 5%); para as ativações iniciais de 3, 3.5, 4, 4.5 e 5, conclui-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).
- Para a duração de 5 meses e para todas as ativações iniciais, observa-se que a diferença média é significativa e positiva, ou seja, que o momento/força médio diminui (valor-p inferior a 5%).

Os gráficos seguintes (gráficos 17) representam o momento/força médio e a diferença média para as três durações.

O quadro em anexo (Quadro A38-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão do momento/força para cada ativação inicial e duração (valores inicial e final e diferença).



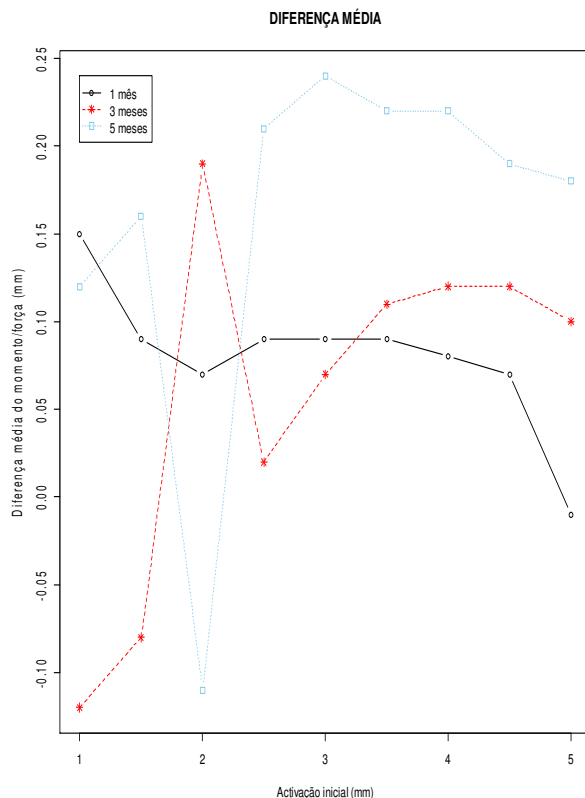


Gráfico 17. Representação Gráfica do Momento/Força Médio e da Diferença Média (TMA) – PH6.75

3.1.2.2.3. Determinação das causas das diferenças

À semelhança das molas de aço, ajusta-se também um modelo de regressão linear múltipla para concluir quais os fatores experimentais que efetivamente influenciam as diferenças e em que sentido.

3.1.2.2.3.1. Força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da força são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). A tabela 17 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 1.5 mm	-0.494	-2.863	0.004	[-0.832,-0.155]
Ativação inicial – 2 mm	-1.129	-6.544	0.000	[-1.467,-0.790]
Ativação inicial – 2.5 mm	-1.685	-9.771	0.000	[-2.023,-1.347]
Ativação inicial – 3 mm	-2.037	-11.809	0.000	[-2.375,-1.698]
Ativação inicial – 3.5 mm	-2.600	-15.077	0.000	[-2.938,-2.262]
Ativação inicial – 4 mm	-2.967	-17.203	0.000	[-3.305,-2.628]
Ativação inicial – 4.5 mm	-3.457	-20.047	0.000	[-3.795,-3.119]
Ativação inicial – 5 mm	-3.891	-22.565	0.000	[-4.230,-3.553]
PH6.75	-1.216	-14.952	0.000	[-1.375,-1.056]
Tempo – 3 meses	3.457	34.720	0.000	[3.262,3.652]
Tempo – 5 meses	4.015	40.324	0.000	[3.820,4.210]

Tabela 17. Influência dos Fatores Experimentais na Força – TMA Resultados da Estimação do Modelo

- Relativamente ao tempo, observa-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 3.457 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 3.262 g e 3.652 g). De forma semelhante, verifica-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 4.015 g superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 3.820 g e 4.210 g). Em resumo, a diferença da força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 3 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca. Logo, a diferença da força aumenta com a duração do tempo.

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.657 e 0.655 e a estatística F de Snedcor (11 e 1608 graus de liberdade) da significância global da regressão é 280.1, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma boa qualidade do ajustamento. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.61). Os resíduos de estimação estão próximos da normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte (gráfico 18).

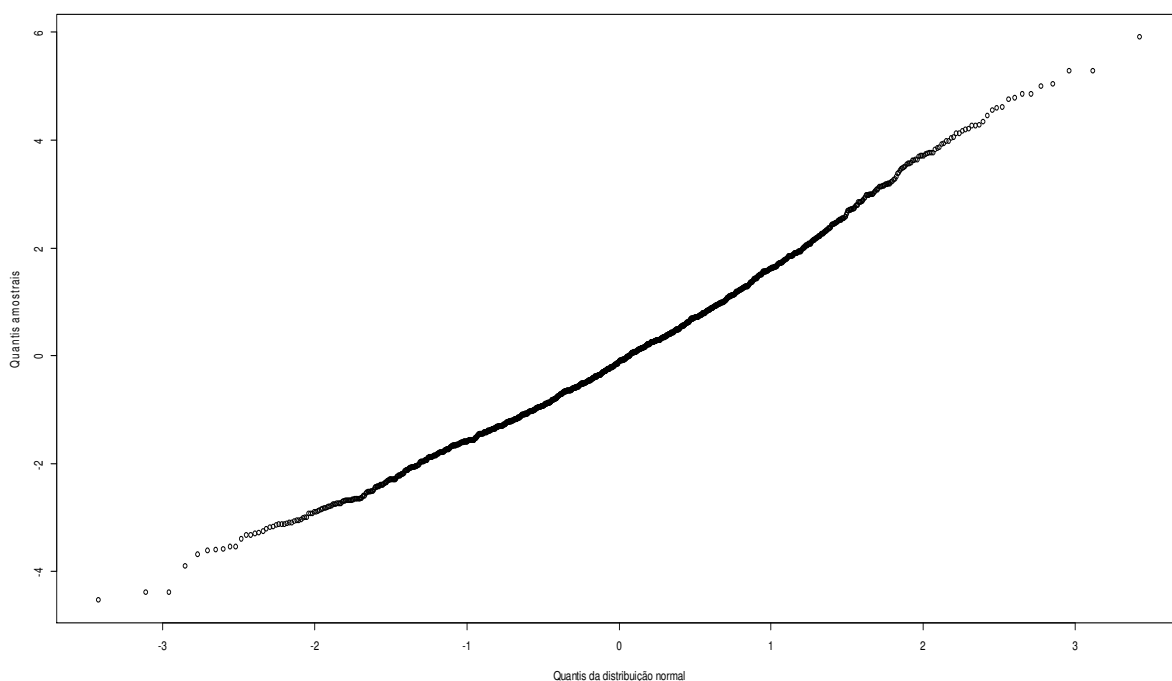


Gráfico 18. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Força) – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, observa-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.494 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.832 g e -0.155 g). De forma semelhante, conclui-se que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 1.129 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -1.467 g e -0.79 g). Constata-se também que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 1.685 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -2.023 g e -1.347 g). Verifica-se também que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 é inferior à diferença

das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 2.037 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -2.375 g e -1.698 g). Observa-se também que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 2.6 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -2.938 g e -2.262 g). Constata-se também que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 4 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 2.967 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -3.305 g e -2.628 g). Verifica-se também que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 4.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 3.457 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -3.795 g e -3.119 g). Resulta ainda que a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 3.891 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -4.230 g e -3.553 g). Em resumo, a diferença da força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 é a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 5, cuja diferença é a menor de todas. Portanto, a diferença da força diminui quando a ativação inicial aumenta.

- Relativamente ao pH, observa-se que a diferença da força das molas sujeitas a pH6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 1.216 g inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -1.375 g e -1.056 g).

3.1.2.2.3.2. Momento

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). A tabela 18 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Tempo – 3 meses	29.458	12.470	0.000	[24.826,34.090]
Tempo – 5 meses	31.848	13.490	0.000	[27.216,36.480]

Tabela 18. Influência dos Fatores Experimentais no Momento– TMA Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.123 e 0.121 e a estatística F de Snedcor (2 e 1617 graus de liberdade) da significância global da regressão é 112.8, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma fraca qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.5). Os resíduos de estimação mostram uma grande proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte (com exceção de dois ou três resíduos anormalmente elevados em valor absoluto e sem significado).

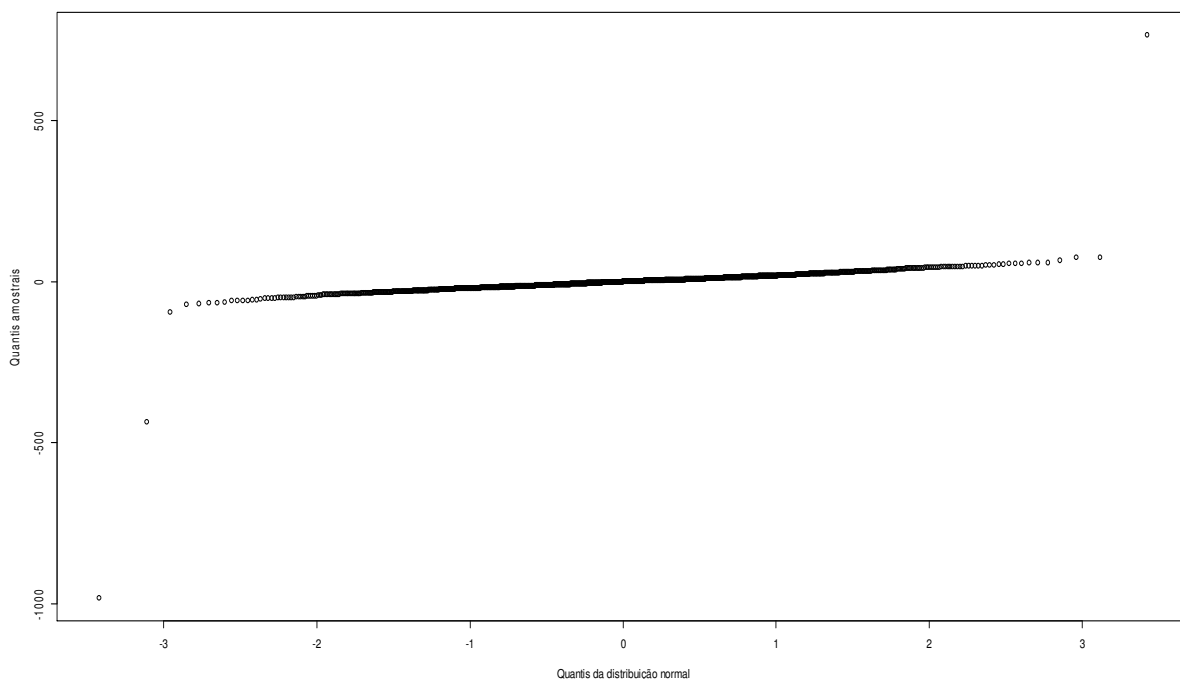


Gráfico 19. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Momento) – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente ao tempo, observa-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 29.458 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 24.826 gmm e 34.09 gmm). De forma semelhante, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 31.848 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 27.216 gmm e 36.48 gmm). Em resumo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é a mais forte, seguindo-se (a curta distância) as molas sujeitas a uma duração de 3 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca. Logo, a diferença do momento aumenta com a duração do tempo, sendo a maior diferença de 1 para 3 meses.

3.1.2.2.3.3. Momento/força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento/força é apenas o pH. A tabela 19 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui a estimativa do parâmetro, o respetivo valor-p e o intervalo de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
pH6.75	0.037	2.214	0.027	[0.004,0.071]

Tabela 19. Influência dos Fatores Experimentais no Momento/Força– TMA Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.003 e 0.002 e a estatística F de Snedcor (1 e 1618 graus de liberdade) da significância global da regressão é 4.9, conduzindo a um valor-p de 0.027, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma fraca qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é muito baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, a correlação entre os parâmetros estimados (-0.71) é um pouco elevada em valor absoluto, mas ainda assim aceitável. Os resíduos de estimação mostram uma grande proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil – gráfico 20 - (com exceção de dois resíduos anormalmente elevados em valor absoluto e sem significado).

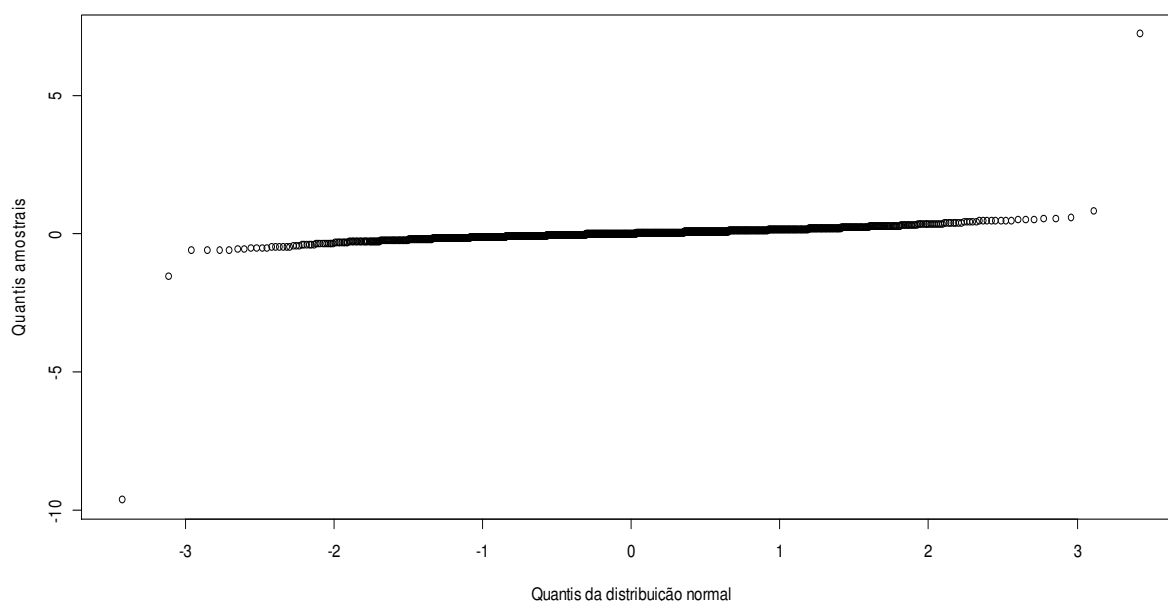


Gráfico 20. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo (Momento/Força) – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa razoavelmente aos dados. Assim, a estimativa do parâmetro permitem concluir o seguinte:

- Relativamente ao pH, observa-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a pH6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.037 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.004mm e 0.071 mm).

3.1.3. Força e momento após imersão em saliva fluoretada – fase 5

3.1.3.1. Molas de aço

3.1.3.1.1. pH4

3.1.3.1.1.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A39-anexo 3), permitem concluir o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade nunca é rejeitada em ambos os níveis de flúor.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 2.5.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 1.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A40-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera (valor-p superior a 5%); para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.

- Ativações iniciais 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
- Duração de 3 meses
 - Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
 - Ativações iniciais 2.5 e 3 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.
 - Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
- Duração de 5 meses
 - Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
 - Ativações iniciais 2.5 e 3.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
 - Ativação inicial 3 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.

Os gráficos seguintes (gráficos 21) representam a diferença média da força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A41-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença da força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

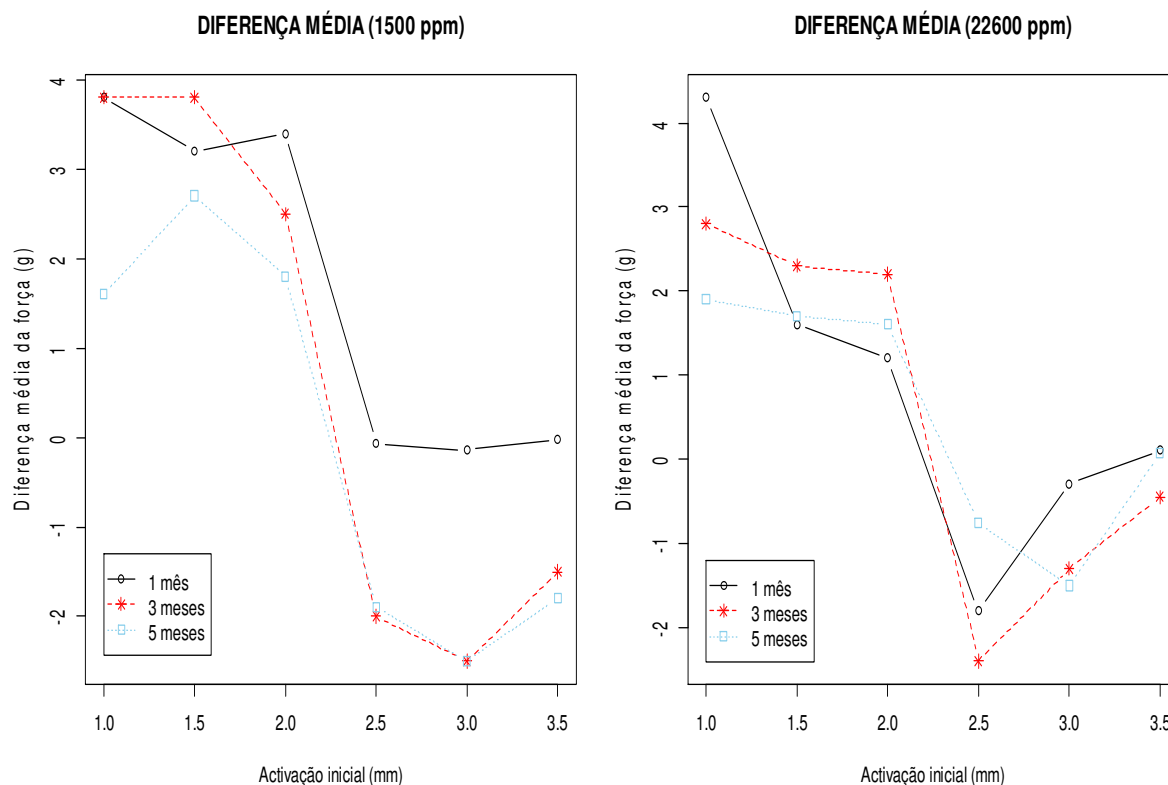


Gráfico 21. Representação Gráfica da Diferença Média da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH4

3.1.3.1.1.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A42-anexo 3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativações iniciais 3 e 3.5.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 3.5.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 1.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A43-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem observar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%); para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.
- Ativação inicial 3 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 3.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.
- Ativação inicial 3 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

•Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 2.5 e 3 – em ambos os níveis de fluor, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta; para 22600 ppm, a diferença

média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

Os gráficos seguintes (gráficos 22) representam a diferença média do momento para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A44-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

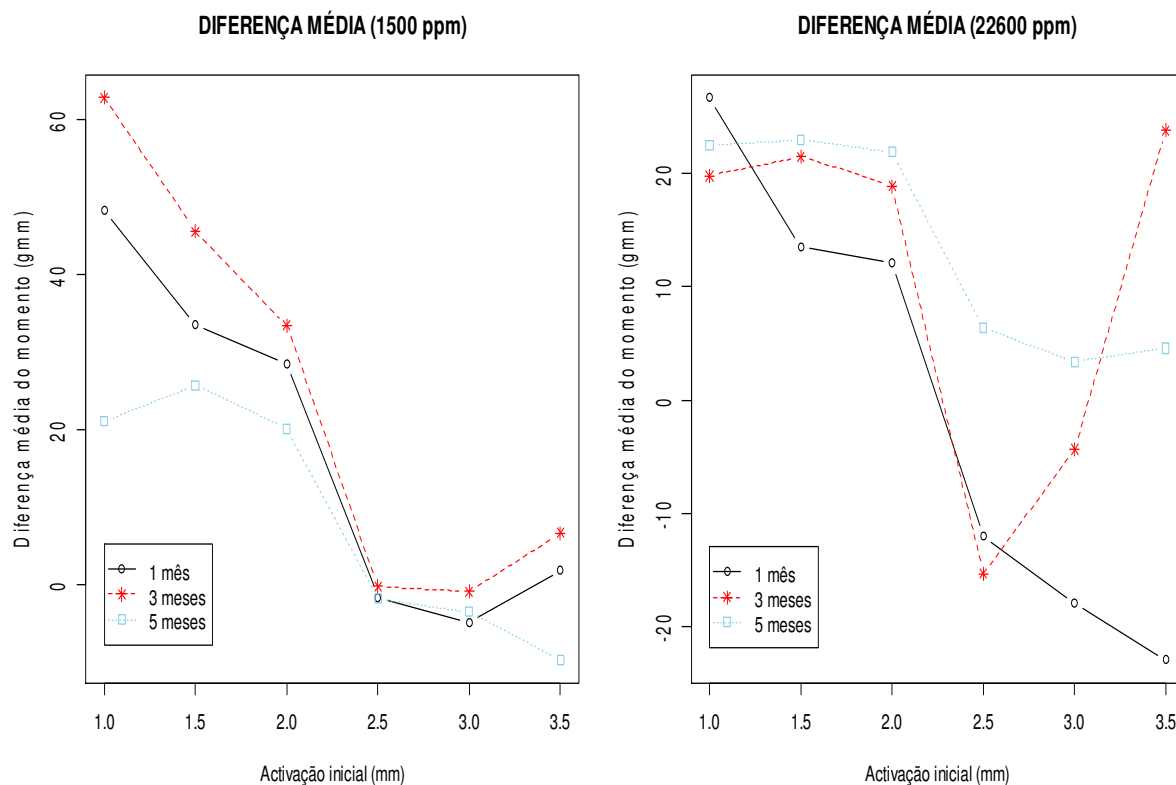


Gráfico 22. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – pH4

3.1.3.1.1.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A45-anexo 3), permitem observar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativações iniciais 3 e 3.5.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativações iniciais 3 e 3.5.

- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 3.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A46-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo (tal como tem sido feito). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – Apenas para as ativações iniciais 1, 1.5 e 2 e para 1500 ppm se conclui que as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento/força médio diminui após a imersão em flúor; em todas as restantes situações consideradas (ou seja, 1500 ppm e as outras ativações iniciais e 22600 ppm e todas as ativações iniciais), as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%).
- Duração de 3 meses
 - - 1500 ppm – para todas as ativações iniciais, as diferenças médias são significativas, o que quer dizer que o momento/força médio diminui após a imersão em flúor.
 - - 22600 ppm – Apenas para as ativações iniciais 1.5 e 2 as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento/força médio diminui; para todas as outras ativações iniciais, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
- Duração de 5 meses – para a ativação inicial de 3.5 e em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera; em todas as outras ativações iniciais, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento/força médio diminui.

Os gráficos seguintes (gráficos 23) representam a diferença média do momento/força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A47-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento/força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

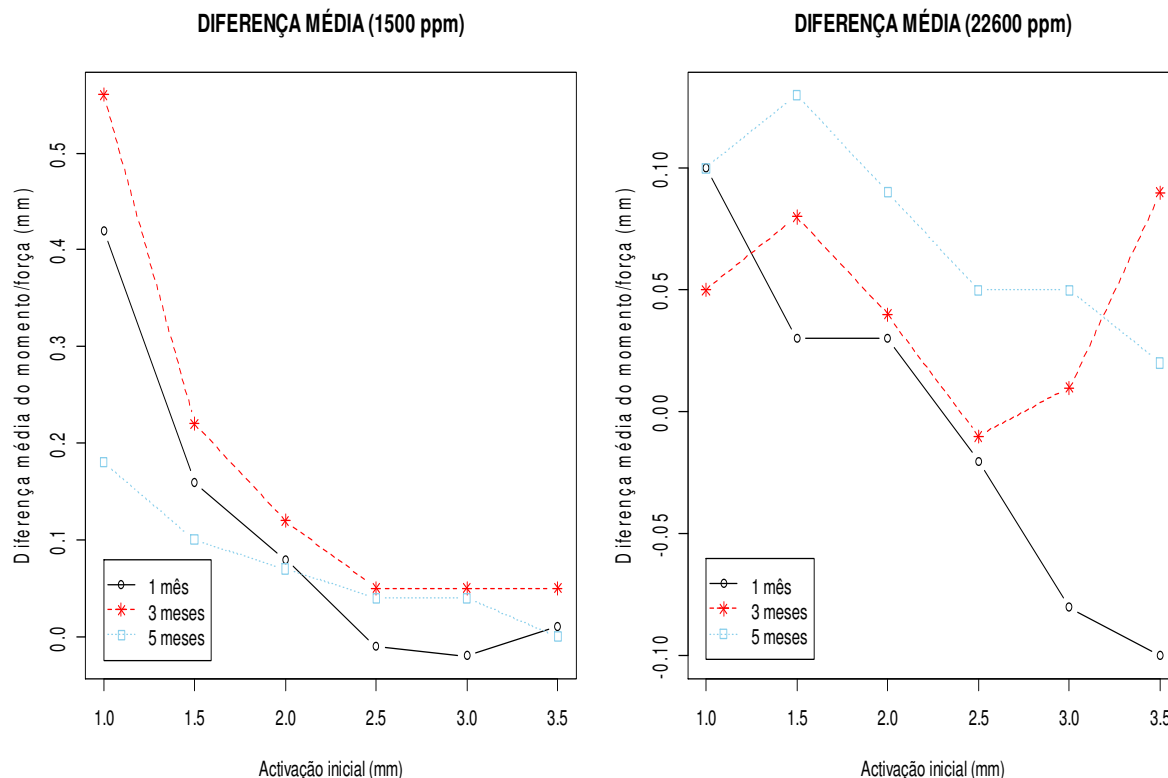


Gráfico 23. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH4

3.1.3.1.2. pH 6.75

3.1.3.1.2.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A48-anexo 3), permitem concluir o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade nunca é rejeitada em ambos os níveis de flúor.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativações iniciais 1.5 e 2.5.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 1.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A49-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera (valor-p superior a 5%); para 22600 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
- Ativações iniciais 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 2.5 e 3 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.
- Ativação inicial 3.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.

•Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
- Ativações iniciais 2.5, 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.

Os gráficos seguintes (gráficos 24) representam a diferença média da força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A50-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença da força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

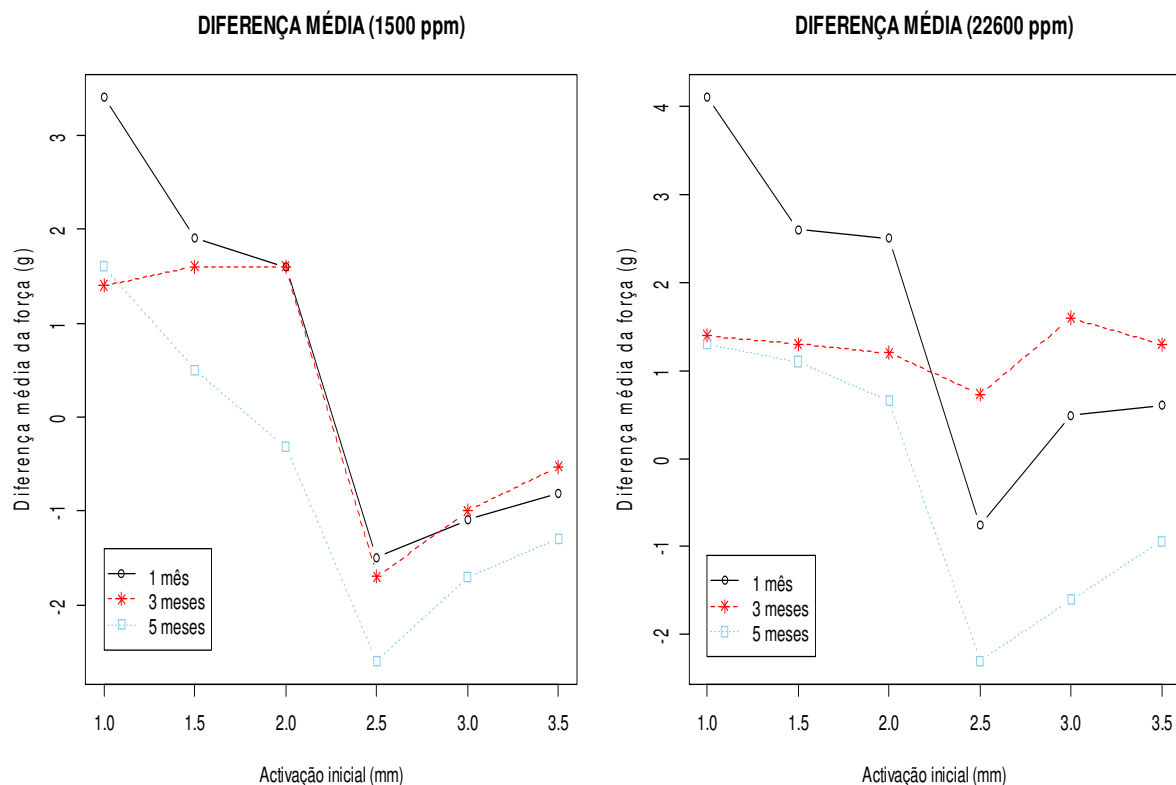


Gráfico 24. Representação Gráfica da Diferença Média da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH6.75

3.1.3.1.2.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A51-anexo 3), permitem constatar que a hipótese de normalidade nunca é rejeitada.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A52-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem observar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor; para 22600

ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%).

- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.
- Ativações iniciais 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

• Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 3 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 3.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui.

• Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5 e 2 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 2.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 3 e 3.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

Os gráficos seguintes (gráficos 25) representam a diferença média do momento para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A53-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

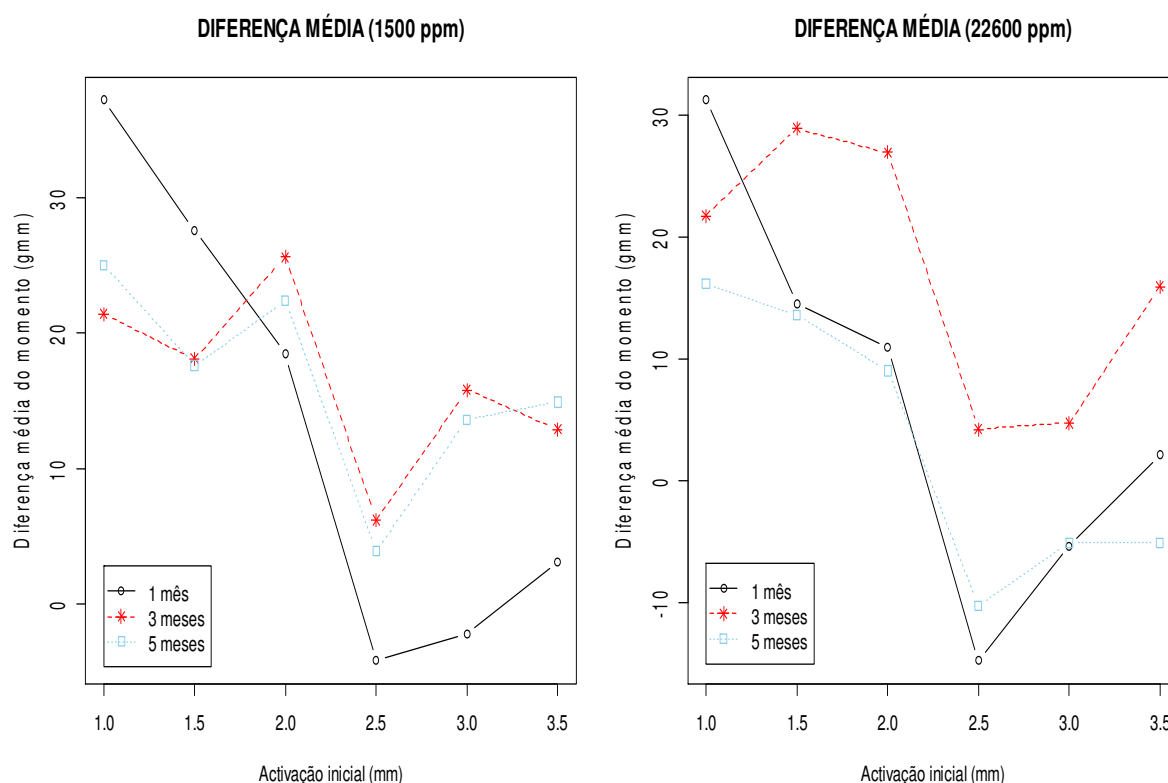


Gráfico 25. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – pH6.75

3.1.3.1.2.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A54-anexo 3), permitem verificar que a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso da duração de 1 mês, 22600 ppm de flúor e ativação inicial 1.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A55-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo (tal como tem sido feito). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – Apenas para as ativações iniciais 1, 1.5 e 2 e para 1500 ppm as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento/força médio diminuiu após a imersão em flúor; em todas as restantes situações consideradas (ou seja, 1500 ppm e as outras ativações

iniciais e 22600 ppm e todas as ativações iniciais), as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera (valor-p superior a 5%).

- Duração de 3 meses – para todas as ativações iniciais e em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que quer dizer que o momento/força médio diminui após a imersão em flúor.
- Duração de 5 meses
 - 1500 ppm – para todas as ativações iniciais, as diferenças médias são significativas, o que quer dizer que o momento/força médio diminui após a imersão em flúor.
 - 22600 ppm – para todas as ativações iniciais, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.

Os gráficos seguintes (gráficos 26) representam a diferença média do momento/força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A56-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento/força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

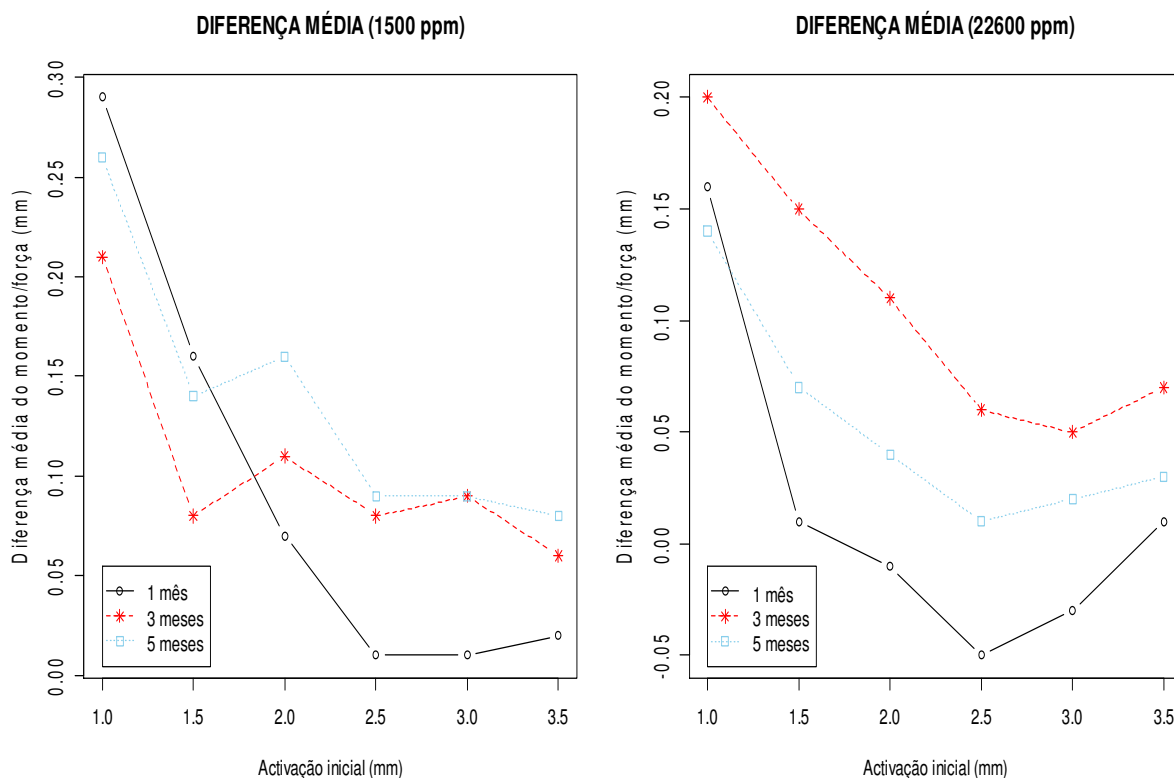


Gráfico 26. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH6.75

3.1.3.1.3. Determinação das causas das diferenças

Com o objetivo de determinar quais os fatores experimentais (ativação inicial, pH, tempo de imersão em saliva e flúor) que afetam significativamente as diferenças (força, momento e momento/força), ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla.

3.1.3.1.3.1. Força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da força são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). Consequentemente, a imersão em flúor não afeta significativamente a força, ou seja, não há distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados. Assim, não se apresenta os resultados da regressão, pois seriam semelhantes aos já discutidos anteriormente.

3.1.3.1.3.2. Momento

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o tempo (distinguindo-se a duração de 3 meses) e o nível de flúor. A tabela 20 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 1.5 mm	-6.114	-2.207	0.028	[-11.552,-0.675]
Ativação inicial – 2 mm	-8.800	-3.177	0.002	[-14.238,-3.361]
Ativação inicial – 2.5 mm	-32.729	-11.815	0.000	[-38.167,-27.291]
Ativação inicial – 3 mm	-30.286	-10.934	0.000	[-35.725,-24.848]
Ativação inicial – 3.5 mm	-25.031	-9.036	0.000	[-30.469,-19.593]
Tempo – 3 meses	7.426	4.378	0.000	[4.096,10.757]
Flúor – 22600 ppm	-7.779	-4.864	0.000	[-10.919,-4.639]

Tabela 20. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor no Momento – Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.292 e 0.285 e a estatística F de Snedcor (7 e 712 graus de liberdade) da significância global da regressão é 42, conduzindo a

um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma qualidade do ajustamento um pouco fraca (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.63). Os resíduos de estimação mostram uma grande proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte – gráfico 27 (o pequeno desvio em relação à normalidade deve-se à existência de três resíduos anormalmente elevados em valor absoluto e que serão ignorados por não terem significado).

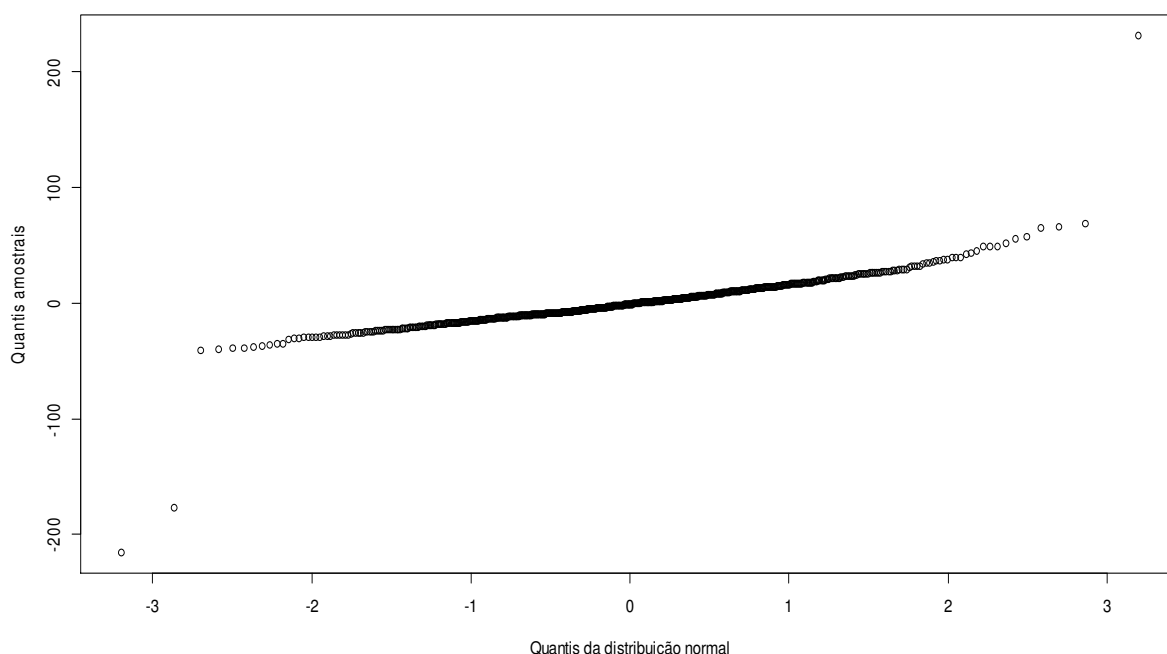


Gráfico 27. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo com Flúor (Momento) – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 6.114 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -11.552 gmm e -0.675 gmm). De forma semelhante, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 8.8 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é

inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -14.238 gmm e -3.361 gmm). A diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 32.729 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -38.167 gmm e -27.291 gmm). Constata-se ainda que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 30.286 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -35.725 gmm e -24.848 gmm). Constata-se mais ainda que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 25.031 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -30.469 gmm e -19.593 gmm). Em resumo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 é a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5, cuja diferença é a menor de todas.

- Relativamente ao tempo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 5 meses, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 7.426 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 4.096 gmm e 10.757 gmm).
- Relativamente ao flúor, a diferença do momento das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 7.779 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -10.919 gmm e -4.639 gmm).

3.1.3.1.3.3. Momento/força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento/força são a ativação inicial (distinguindo-se

todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). O quadro seguinte mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 1.5 mm	-0.120	-7.026	0.000	[-0.153,-0.086]
Ativação inicial – 2 mm	-0.155	-9.093	0.000	[-0.188,-0.121]
Ativação inicial – 2.5 mm	-0.205	-12.059	0.000	[-0.239,-0.172]
Ativação inicial – 3 mm	-0.207	-12.184	0.000	[-0.241,-0.174]
Ativação inicial – 3.5 mm	-0.204	-11.995	0.000	[-0.238,-0.171]
Tempo – 3 meses	0.056	4.654	0.000	[0.032,0.080]
Tempo – 5 meses	0.035	2.893	0.004	[0.011,0.058]
Flúor – 22600 ppm	-0.064	-6.500	0.000	[-0.083,-0.045]

Tabela 21. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor no Momento/Força – Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.290 e 0.282 e a estatística F de Snedcor (8 e 711 graus de liberdade) da significância global da regressão é 36.3, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma qualidade do ajustamento um pouco fraca (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.58). Os resíduos de estimação apresentam algum desvio em relação à normalidade (nos extremos), conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil 28.

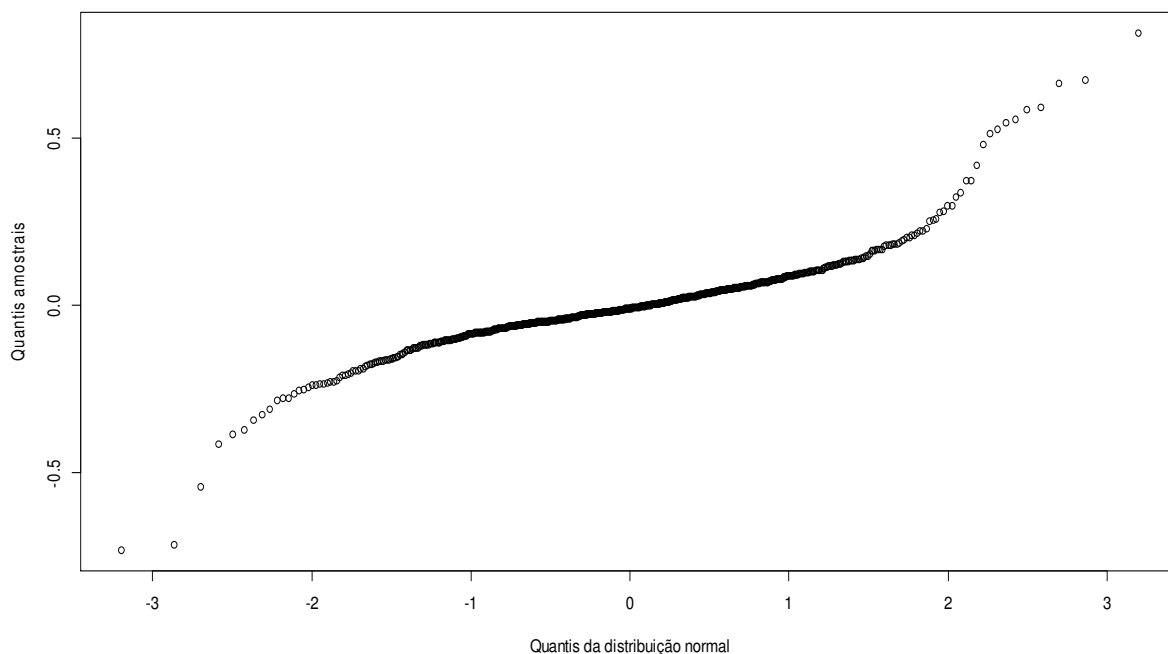


Gráfico 28. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo com Flúor (Momento/Força) – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.12 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.153 mm e -0.086 mm). De forma semelhante, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.155 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.188 mm e -0.121 mm). Constata-se também que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.205 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.239 gmm e -0.172 mm). Verifica-se ainda que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 é

inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.207 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.241 gmm e -0.174 mm). Constata-se mais ainda que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.204 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.238 mm e -0.171 mm). Em resumo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 é a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, cuja diferença é a menor de todas.

- Relativamente ao tempo, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.056 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.032 mm e 0.080 mm). De forma semelhante, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.035 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.011 mm e 0.058 mm). Em resumo, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca.

- Relativamente ao flúor, a diferença do momento/força das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.064 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.083 mm e -0.045 mm).

3.1.3.2. Molas de TMA

Executa-se para as molas de TMA uma experiência análoga à das molas de aço, com os mesmos procedimentos e condições, sendo agora consideradas as ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 e 5. Consequentemente, a análise é desenvolvida seguindo as mesmas linhas.

3.1.3.2.1. pH4

3.1.3.2.1.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A57-anexo 3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 4.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada em ambos os níveis de flúor e ativação inicial 1 e no caso de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 4.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade nunca é rejeitada em ambos os níveis de flúor.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A58-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem concluir o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 4, 4.5 e 5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 e 4 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas (valor-p superior a 5%), ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.

•Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 4 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.
- Ativação inicial 4.5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa, mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.
- Ativação inicial 5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.

Os gráficos seguintes (gráficos 29 representam a diferença média da força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A59-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença da força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

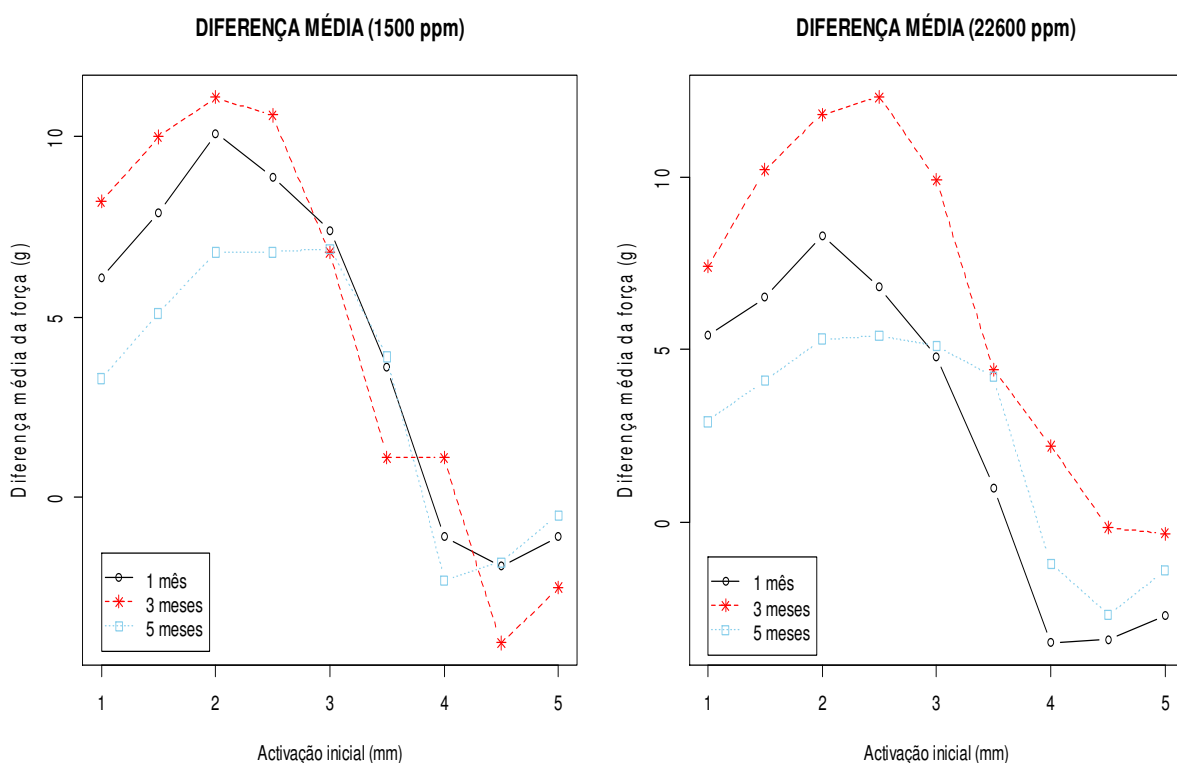


Gráfico 29. Representação Gráfica da Diferença Média da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – pH4

3.1.3.2.1.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A60-anexo 3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas nos casos de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 5 e de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 4.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativações iniciais 1.5 e 2.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade nunca é rejeitada em ambos os níveis de flúor.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A61-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem verificar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%)
- Ativações iniciais 4 e 4.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.
- Ativação inicial 5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui; para 22600 ppm, a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 e 4 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

• Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 4 e 4.5 – em ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.
- Ativação inicial 5 – em ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

Os gráficos seguintes (gráficos 30) representam a diferença média do momento para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A62-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

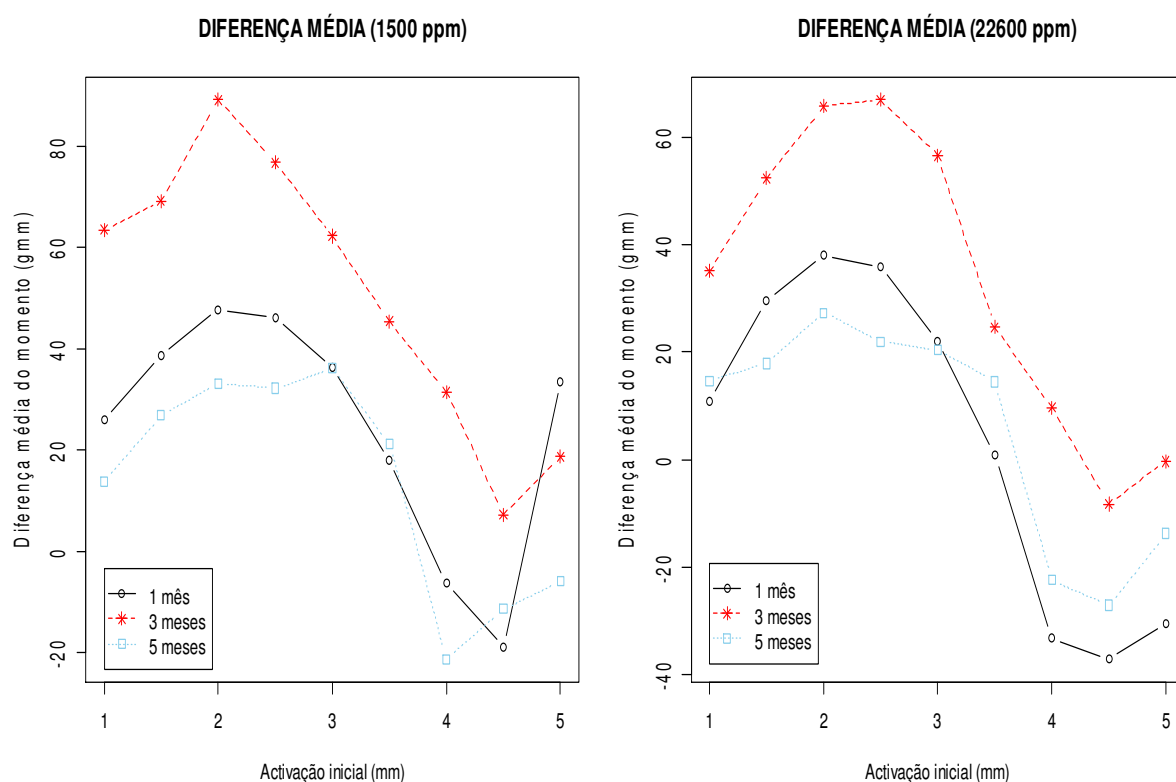


Gráfico 30. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento Após Imersão em Flúor (TMA) – pH4

3.1.3.2.1.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A63-anexo 3), permitem concluir que a hipótese de normalidade é rejeitada apenas nos casos da duração de 1 mês, 150 Oppm de flúor e ativação inicial 5 e da duração de 3 meses, 22600 ppm de flúor e ativação inicial 1.5.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A64-anexo 3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo (tal como tem sido feito). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – para 1500 ppm de flúor, as diferenças médias não são significativas (valor-p superior a 5%), ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera após a imersão em flúor; para 22600 ppm de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula) e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta.
- Ativação inicial 2 – para ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta.
- -Ativações iniciais 2.5, 3 e 3.5 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
- Ativação inicial 4 – para 1500 ppm de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera; para 22600 ppm de flúor, a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta.
- Ativação inicial 4.5 – para ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta.
- Ativação inicial 5 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, ou seja, o momento/força médio diminui; para 22600 ppm, a diferença média é significativa e de sinal negativo, ou seja, o momento médio/força médio aumenta.

•Duração de 3 meses

- 1500 ppm de flúor – para todas as ativações iniciais, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento/força médio diminui após a imersão em flúor.

- 22600 ppm de flúor – para as ativações iniciais 1.5 e 2.5, as diferenças médias são significativas e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta; para todas as outras ativações iniciais, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
- Duração de 5 meses
 - 1500 ppm de flúor – para todas as ativações iniciais, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
 - 22600 ppm de flúor – para as ativações iniciais 2.5, 3, 3.5 e 4, as diferenças médias são significativas e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta; para todas as outras ativações iniciais, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.

Os gráficos seguintes (gráficos 31) representam a diferença média do momento/força para as três durações e dois níveis de flúor.

O quadro em anexo (Quadro A65-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença do momento/força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

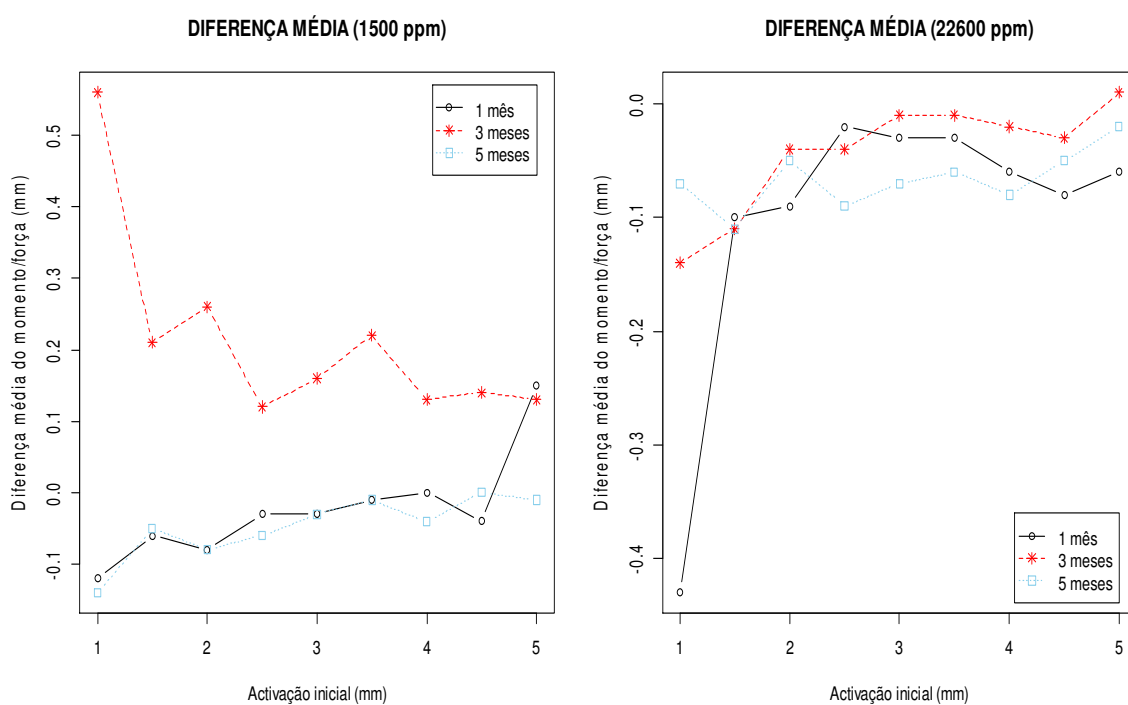


Gráfico 31. Representação Gráfica da Dif. Média do Momento/Força Após Imersão em Flúor (TMA) – pH4

3.1.3.2.2. pH 6.75

3.1.3.2.2.1. Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A66-anexo 3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas nos casos de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 3 e de 22600 ppm de flúor e ativação inicial 4.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 1.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 2.5.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A67-anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem verificar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa (valor-p superior a 5%), ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa, ou seja, a força média diminui.
- Ativações iniciais 4 e 4.5 – para ambos os níveis de flúor, que as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.
- Ativação inicial 5 – para 1500 ppm, conclui-se que a diferença média é significativa mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3 e 3.5 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 4 – para 1500 ppm de flúor, a diferença média é significativa, ou seja, a força média diminui; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera.

- Ativações iniciais 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da força não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, a força média aumenta.
 - Duração de 5 meses – para ambos os níveis de flúor e para todas as ativações iniciais, as diferenças médias são significativas, o que significa que a força média diminui após a imersão em flúor.
- Os gráficos seguintes (gráficos 32) representam a diferença média da força para as três durações e dois níveis de flúor.
- O quadro em anexo (Quadro A68-anexo 3) apresenta de forma descritiva a média e o desvio padrão da diferença da força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

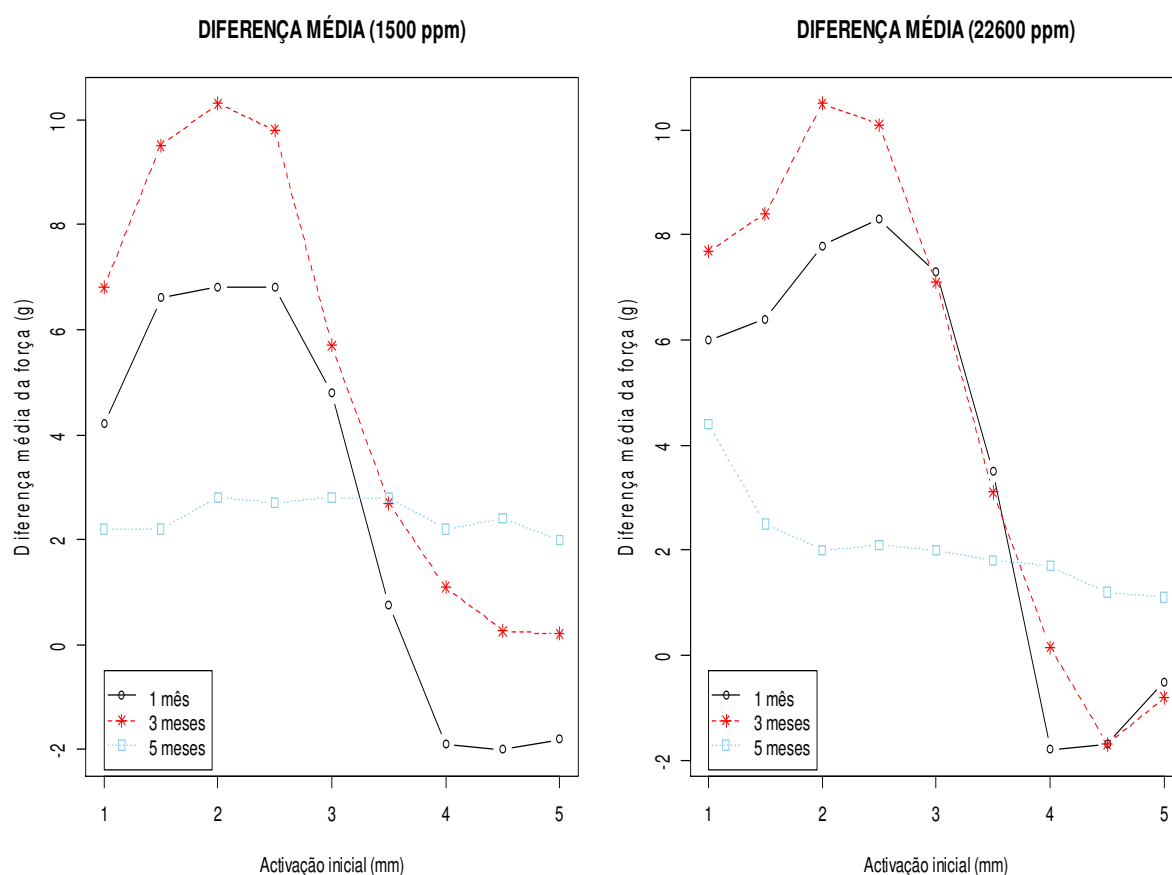


Gráfico 32. Representação Gráfica da Diferença Média da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

3.1.3.2.2.2. Momento

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A69-anexo 3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de 1500 ppm de flúor e ativação inicial 5.
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada para ambos os níveis de flúor apenas no caso da ativação inicial 2.5.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada para ambos os níveis de flúor nos casos das ativações iniciais 2, 3 e 3.5.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A70 - anexo 3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera (valor-p superior a 5%); para 22600 ppm, a diferença média é significativa, ou seja, o momento médio diminui.
- Ativações iniciais 4, 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas mas de sinal negativo, ou seja, o momento médio aumenta.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4.5 e 5 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 4 – para 1500 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui; para 22600 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.

•Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2, 2.5 e 3 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui após a imersão em flúor.
- Ativação inicial 3.5 – para 1500 ppm, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera; para 22600 ppm, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui.
- Ativações iniciais 4 e 4.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas, o que significa que o momento médio diminui; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento não se altera.
- Ativação inicial 5 – para ambos os níveis de flúor, a diferença média é significativa, o que significa que o momento médio diminui.

Por fim, apresenta-se no quadro em anexo (Quadro A71- anexo3) a média e o desvio padrão da diferença do momento para cada ativação inicial, duração e nível de flúor.

Complementando o quadro, em seguida representa-se graficamente (gráfico 33) a diferença média do momento para as três durações e dois níveis de flúor.

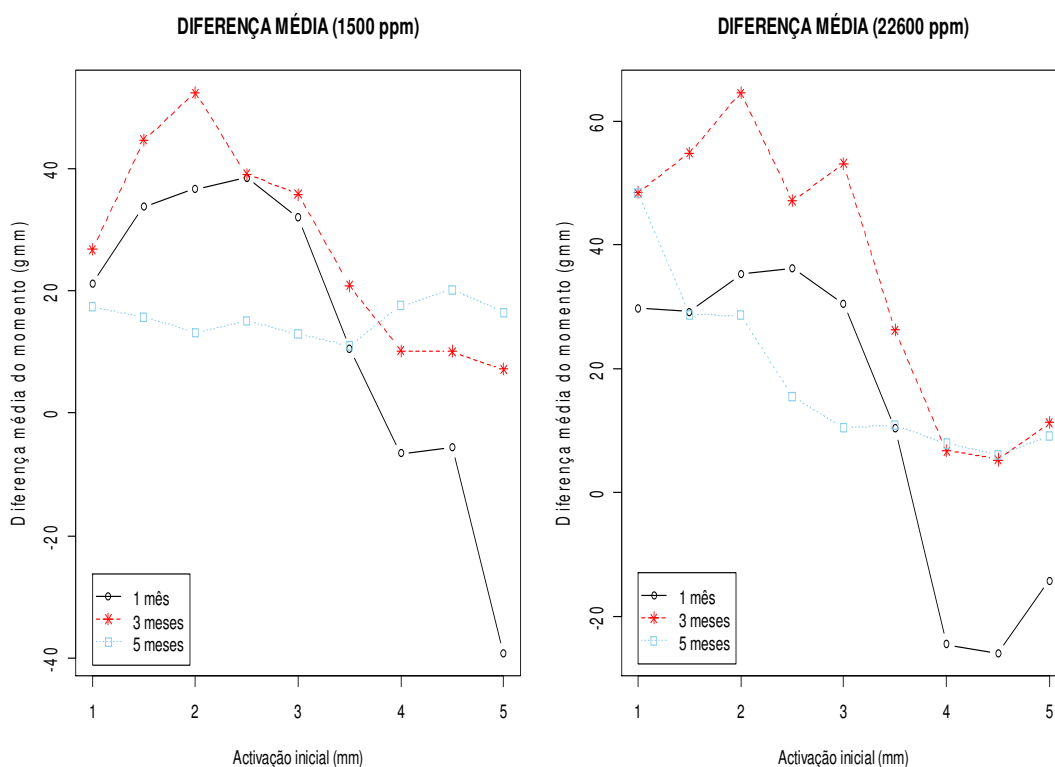


Gráfico 33. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento Após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

3.1.3.2.2.3. Momento/Força

Os resultados do teste de normalidade das diferenças do momento/força para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro A72- anexo3), permitem constatar que a hipótese de normalidade é rejeitada apenas nos casos da duração de 3 meses para ambos os níveis de flúor e ativação inicial 2.5 e da duração de 5 meses, 1500 ppm de flúor e ativação inicial 5 e 22600 ppm de flúor e ativação inicial 2.

Os resultados do teste da significância das diferenças do momento/força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro A73- anexo3). A hipótese alternativa é agora bilateral, pois não é possível supor à partida qual será o sentido destas diferenças, uma vez que se trata da razão de duas grandezas cujo sentido de variação pode ser o mesmo (tal como tem sido feito). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

•Duração de 1 mês

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias não são significativas (valor-p superior a 5%), ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera após a imersão em flúor.
- Ativações iniciais 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula) e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta.

•Duração de 3 meses

- Ativações iniciais 1, 1.5, 2 e 2.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias são significativas e de sinal negativo, ou seja, o momento/força médio aumenta; para 22600 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
- Ativações iniciais 3 e 3.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas, ou seja, conclui-se que o momento/força médio diminui.
- Ativação inicial 4 – para ambos os níveis de flúor, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.
- Ativações iniciais 4.5 e 5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do

momento/força não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas, ou seja, o momento/força médio diminui.

• Duração de 5 meses

- Ativações iniciais 1 e 1.5 – para 1500 ppm, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera; para 22600 ppm, as diferenças médias são significativas, ou seja, o momento/força médio diminui.
- Ativações iniciais 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 e 5 – para ambos os níveis de flúor, as diferenças médias não são significativas, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio do momento/força não se altera.

Por fim, apresenta-se, no quadro em anexo (Quadro A74- anexo3), a média e o desvio padrão da diferença do momento/força para cada ativação inicial, duração e nível de flúor. Complementando o quadro, em seguida representa-se graficamente (gráfico 34) a diferença média do momento/força para as três durações e dois níveis de flúor.

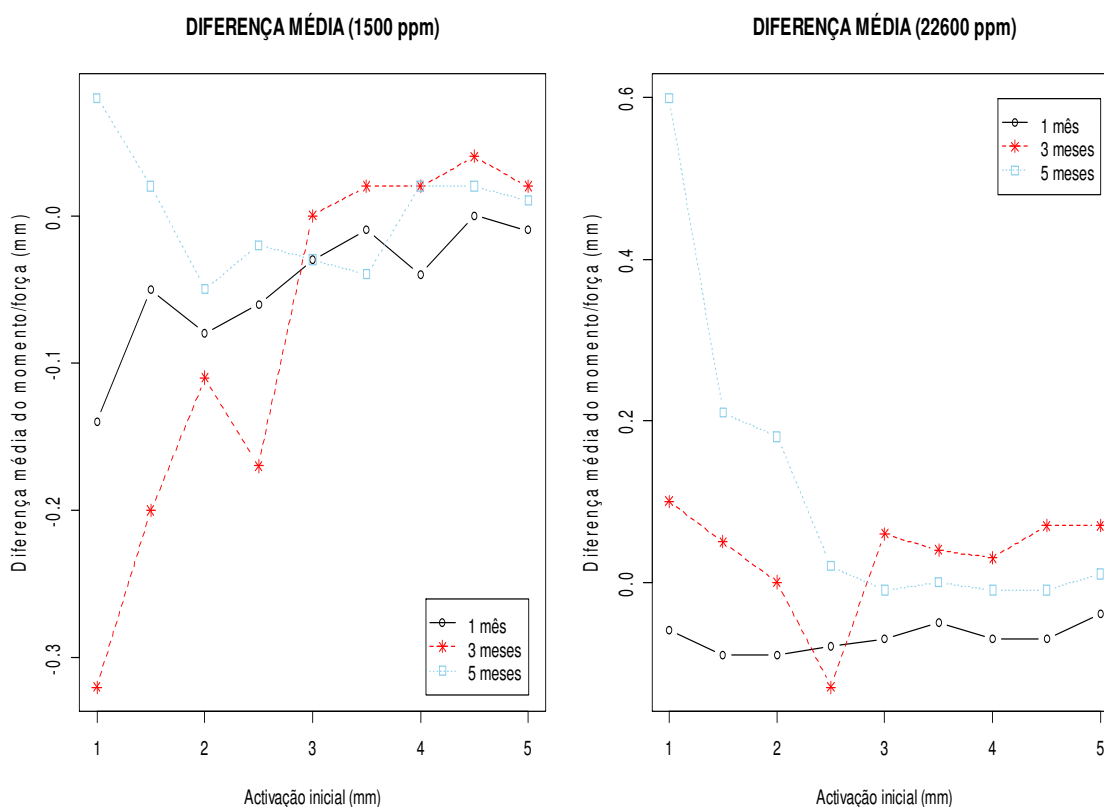


Gráfico 34. Representação Gráfica da Diferença Média do Momento/Força Após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

3.1.3.2.3. Determinação das causas das diferenças

3.1.3.2.3.1. Força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da força são a ativação inicial (distinguindo-se todas as ativações), o pH e o tempo (distinguindo-se todas as durações). Consequentemente, constata-se que a imersão em flúor não afeta significativamente a força, ou seja, não há distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados, tal como para as molas de aço. Assim, não se apresenta também os resultados da regressão, pois seriam semelhantes aos já discutidos anteriormente.

3.1.3.2.3.2. Momento

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são a ativação inicial (distinguindo-se as ativações 2, 2.5, 3.5, 4, 4.5 e 5), o tempo (distinguindo-se a duração de 3 meses) e o nível de flúor. A tabela 22 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 2 mm	10.816	4.533	0.000	[6.134,15.498]
Ativação inicial – 2.5 mm	5.793	2.428	0.015	[1.111,10.475]
Ativação inicial – 3.5 mm	-15.640	-6.555	0.000	[-20.322,-10.958]
Ativação inicial – 4 mm	-36.129	-15.141	0.000	[-40.811,-31.447]
Ativação inicial – 4.5 mm	-40.652	-17.037	0.000	[-45.334,-35.970]
Ativação inicial – 5 mm	-34.146	-14.310	0.000	[-38.828,-29.464]
Tempo – 3 meses	23.529	16.102	0.000	[20.662,26.396]
Flúor – 22600 ppm	-6.208	-4.507	0.000	[-8.912,-3.505]

Tabela 22. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor no Momento – TMA Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.489 e 0.485 e a estatística F de Snedcor (8 e 1071 graus de liberdade) da significância global da regressão é 127.9, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma razoável qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é moderado). Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.47).

Os resíduos de estimação mostram uma grande proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte (o pequeno desvio em relação à normalidade deve-se à existência de dois resíduos anormalmente elevados em valor absoluto e que serão ignorados por não terem significado).

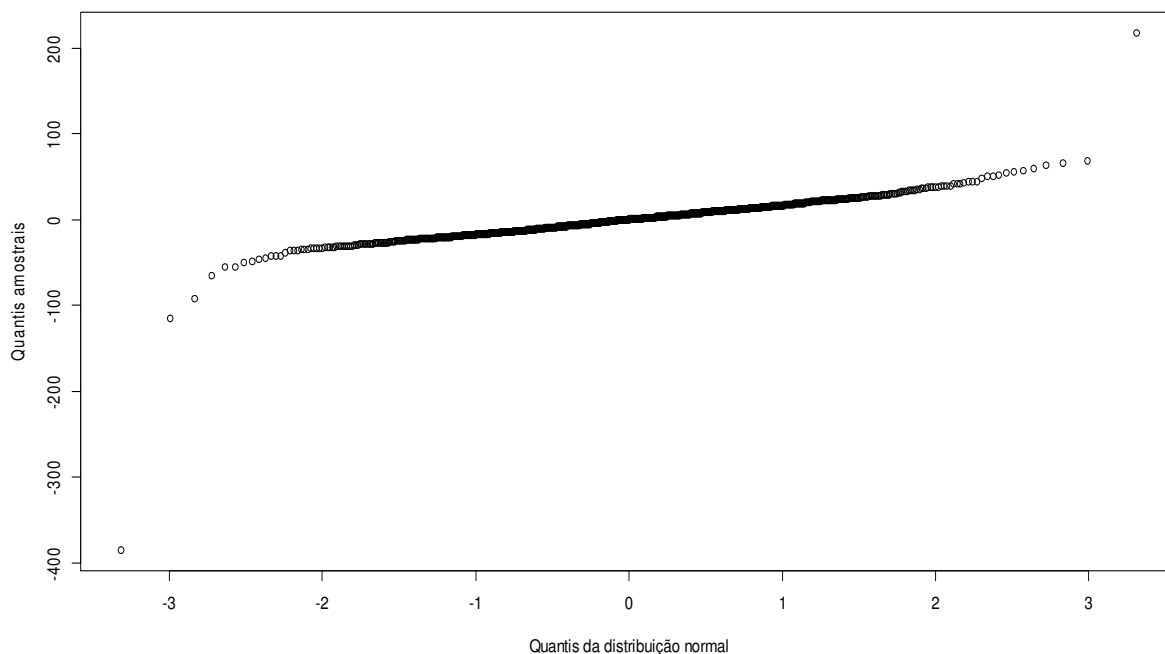


Gráfico 35. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo com Flúor (Momento) – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é superior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 10.816 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 6.134 gmm e 15.498 gmm). De forma semelhante, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é superior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 5.793 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 1.111 gmm e 10.475 gmm). Pelo contrário, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou

3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 15.64 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -20.322 gmm e -10.958 gmm). Constata-se também que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 4 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 36.129 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -40.811 gmm e -31.447 gmm). Verifica-se ainda que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 4.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 40.652 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -45.334 gmm e -35.970 gmm). Constata-se, por fim, que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 5 é inferior à diferença das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 ou 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 34.146 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -38.828 gmm e -29.464 gmm). Em resumo, a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial 2.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1, 1.5 ou 3, que não se distinguem entre si, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4.5, cuja diferença é a menor de todas.

- Relativamente ao tempo, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 5 meses, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 23.529 gmm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 20.662 gm e 26.396 gmm).
- Relativamente ao flúor, constata-se que a diferença do momento das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 6.208 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a

diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -8.912 gmm e -3.505 gmm).

3.1.3.2.3.3. Momento/força

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento/força são a ativação inicial (distinguindo-se a ativação 2.5), o tempo (distinguindo-se todas as durações) e o nível de flúor. A tabela 23 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Ativação inicial – 2.5 mm	-0.038	-2.105	0.036	[-0.074,-0.003]
Tempo – 3 meses	0.081	5.776	0.000	[0.053,0.108]
Tempo – 5 meses	0.049	3.523	0.000	[0.022,0.077]
Flúor – 22600 ppm	-0.032	-2.815	0.005	[-0.055,-0.010]

Tabela 23. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor no Momento/Força – TMA
Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.041 e 0.038 e a estatística F de Snedcor (4 e 1075 graus de liberdade) da significância global da regressão é 11.56, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma fraca qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.6). Os resíduos de estimação apresentam algum desvio em relação à normalidade (nos extremos), conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte.

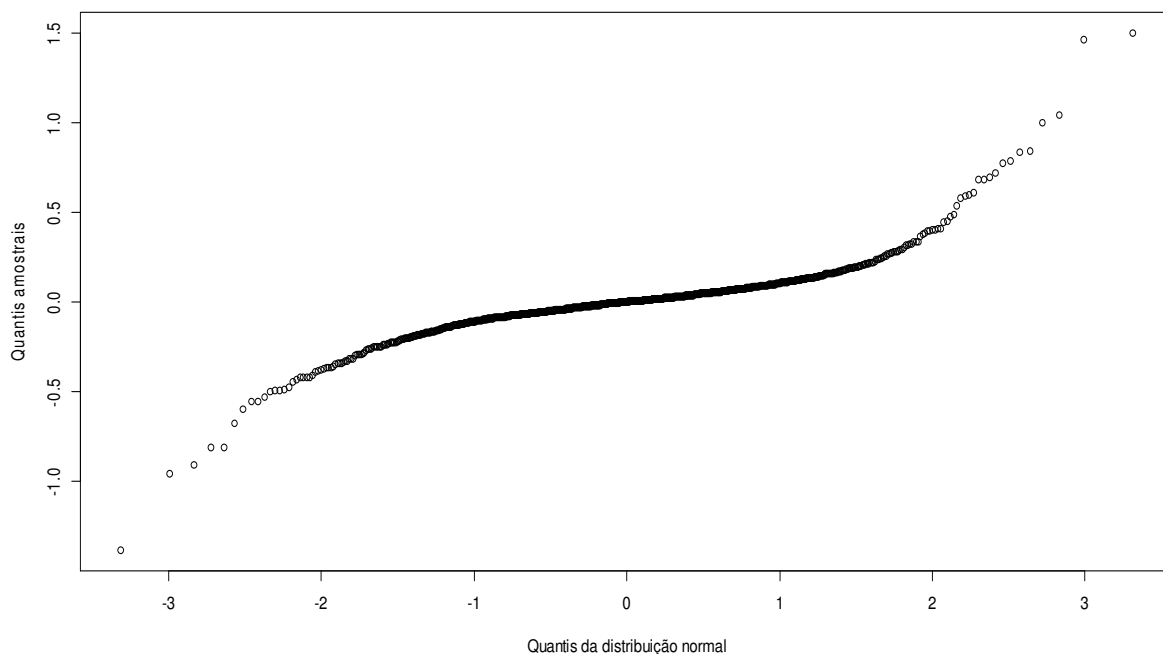


Gráfico 36. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo com Flúor (Momento/Força) – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa aos dados, embora pouco satisfatoriamente. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente à ativação inicial, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 é inferior à diferença das molas sujeitas a qualquer outra ativação inicial que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.038 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.074 mm e -0.003 mm).
- Relativamente ao tempo, a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.081 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.053 mm e 0.108 mm). De forma semelhante, conclui-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.049 mm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.022 mm e 0.077 mm). Em resumo, a

diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença é a mais fraca.

- Relativamente ao flúor, a diferença do momento/força das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.032 mm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.055 mm e -0.010 mm).

3.2. VARIÁVEL RUGOSIDADE

3.2.1. Avaliação do efeito da saliva na rugosidade das molas

3.2.1.1. Molas de aço

Para este efeito, as molas foram submersas em saliva, tendo sido considerados dois níveis de pH (4 e 6.75) e três durações de tempo (1, 3 e 5 meses). Para cada nível de PH, da totalidade das molas imersas, foram consideradas (algumas amostras foram eliminadas) 15 molas durante 1 mês, 21 molas durante 3 meses e 21 molas durante 5 meses, tendo todos os testes sido realizados por ordem aleatória.

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da rugosidade, indicados na tabela 24, só não rejeitam esta hipótese (valor-p superior a 5%) para PH4 e 1 mês.

pH	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.910	0.134	0.618	0.000	0.486	0.000
pH 6.75	0.667	0.000	0.903	0.040	0.662	0.000

Tabela 24. Teste de Normalidade das Diferenças da Rugosidade (Aço)

Os resultados do teste da significância das diferenças encontram-se indicados na tabela 25. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Com uma única exceção (pH4 e 3 meses), o valor-p do teste é inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula, pelo que se conclui que as diferenças médias são significativas, ou seja, que a rugosidade diminui. No caso de pH4 e 3 meses, a diferença média não é significativa (valor-p superior a 5%), pelo que não se rejeita a hipótese de que o valor médio da rugosidade não se altera.

pH	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	2.9	0.006	5	0.579	74	0.003
pH6.75	15	0.024	190	0.000	86	0.002

Tabela 25. Teste da Significância das Diferenças da Rugosidade (Aço)

Por fim, apresenta-se, no quadro em anexo (Quadro B1- anexo3), a média e o desvio padrão da rugosidade para cada duração (valores inicial e final e diferença).

A totalidade da amostra antes da imersão regista um valor médio de 0,033 μm com um desvio padrão de 0,026.

Determinação das causas das diferenças:

Com o objetivo determinar quais os fatores experimentais (pH e tempo de imersão em saliva) que afetam significativamente as diferenças da rugosidade, ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla em que a variável explicada (resposta) são essas diferenças e as variáveis explicativas do modelo (regressores) são os fatores experimentais referidos.

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da rugosidade é o tempo (distinguindo-se a duração de 5 meses). A tabela 26 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
Tempo – 5 meses	0.012	2.282	0.024	[0.002,0.023]

Tabela 26. Influência dos Fatores Experimentais na Rugosidade – Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.044 e 0.036 (uma vez que se trata de um modelo de regressão simples, não é necessário indicar a estatística da significância global da regressão), o que é baixo mas ainda assim significativo. Além disso, a correlação entre os parâmetros estimados é apenas moderada (0.61 em valor absoluto). Os resíduos de estimação. Os resíduos de estimação apresentam desvios importantes relativamente à normalidade.

Apesar de não ser possível afirmar que a qualidade do ajustamento do modelo aos dados é satisfatória, a estimativa do parâmetro permite constatar que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 3 meses, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.012 μm superior à diferença das segundas, o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.002 μm e 0.023 μm).

Avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras.

As figuras abaixo (Fig. 32 e 33) representam as topografias efetuadas para avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras em aço no estado inicial e após imersão em saliva.

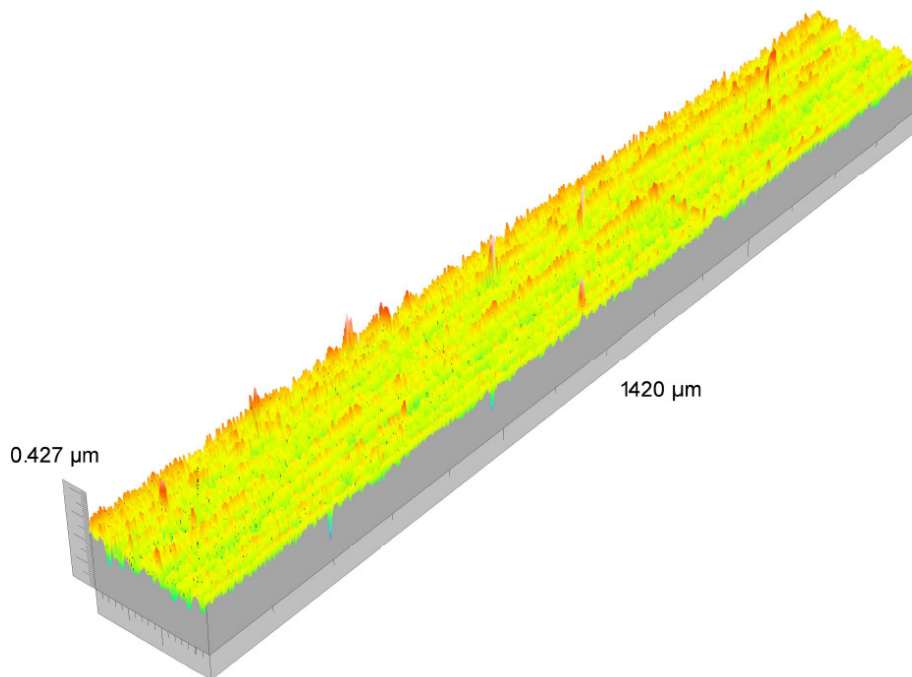


Figura 32. - Aço no estado inicial

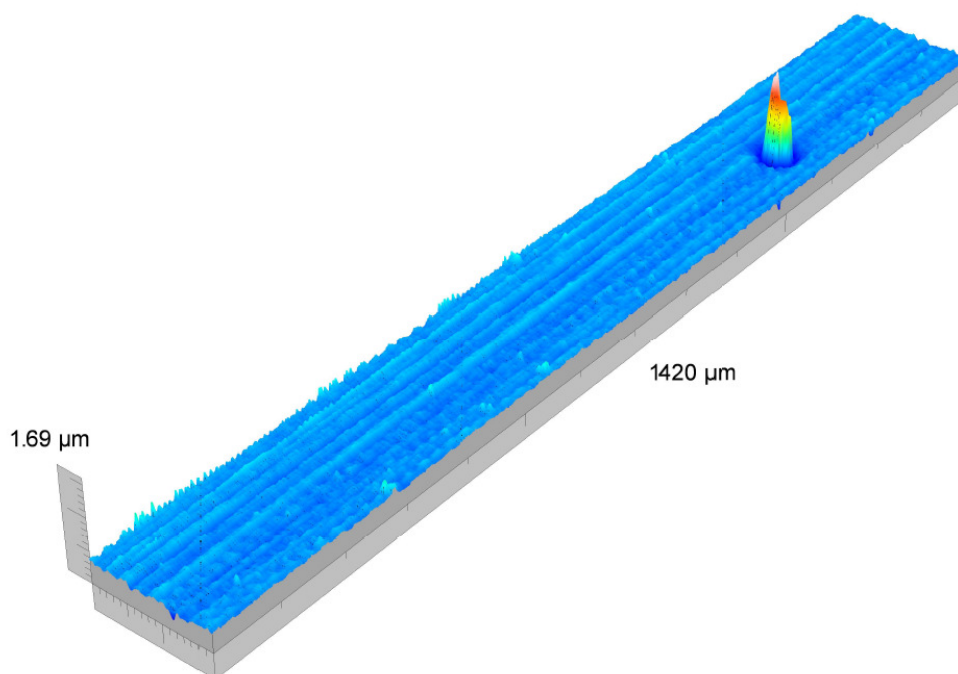


Figura 33. Aço após imersão em saliva

3.2.1.2. Molas de TMA

Para o nível de pH 4, da totalidade das molas imersas, foram consideradas (algumas amostras foram eliminadas), 12 molas durante 1 mês, 21 molas durante 3 meses e 20 molas durante 5 meses; por outro lado, das molas imersas em saliva com pH 6.75, foram utilizadas 12 molas durante 1 mês, 21 molas durante 3 meses e 21 molas durante 5 meses. Todos os testes foram realizados por ordem aleatória.

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da rugosidade, indicados na tabela 27, só rejeitam esta hipótese (valor-p inferior a 5%) para pH6.75 e 5 meses.

pH	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.947	0.594	0.958	0.468	0.957	0.512
pH 6.75	0.963	0.830	0.959	0.488	0.617	0.000

Tabela 27. Teste de Normalidade das Diferenças da Rugosidade (TMA)

Os resultados do teste da significância das diferenças encontram-se indicados na tabela 28. Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Para pH 4 e todas as durações e para pH 6.75 e 5 meses, o valor-p do teste é inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula, pelo que se constata que as diferenças médias são significativas, ou seja, que a rugosidade diminui nestes casos. No caso de PH6.75 e 1 mês, a diferença média é significativa, mas de sinal negativo, ou seja, o valor médio da rugosidade aumenta (neste caso, foi considerada uma hipótese alternativa bilateral). No caso de pH6.75 e 3 meses, a diferença média não é significativa (valor-p superior a 5%), pelo que não se rejeita a hipótese de que o valor médio da rugosidade não se altera.

pH	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	7.7	0.000	3.4	0.001	4.7	0.000
pH6.75	-2.7	0.022	-0.094	0.926	229	0.000

Tabela 28. Teste da Significância das Diferenças da Rugosidade (TMA) Fatores Experimentais com Flúor no Momento/Força – TMA

Por fim, apresenta-se, no quadro em anexo (Quadro B2 - anexo 3), a média e o desvio padrão da rugosidade para cada duração (valores inicial e final e diferença).

A totalidade da amostra antes da imersão regista um valor médio de 0,141 μm com um desvio padrão de 0,043.

Determinação das causas das diferenças:

Os resultados da estimação do modelo de regressão mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo, ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças da rugosidade são o pH e o tempo (distinguindo-se a duração de 5 meses). A tabela 29 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
pH 6.75	-0.030	-2.563	0.012	[-0.054,-0.007]
Tempo – 5 meses	0.046	3.715	0.000	[0.021,0.070]

Tabela 29. Influência dos Fatores Experimentais na Rugosidade – TMA Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respetivamente 0.162 e 0.146 e a estatística F de Snedcor (2 e 103 graus de liberdade) da significância global da regressão é 9.96, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma qualidade do ajustamento fraca (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.62). Os resíduos de estimação mostram uma grande proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil 37 (o pequeno desvio em relação à normalidade deve-se à existência de dois resíduos anormalmente elevados em valor absoluto e que serão ignorados por não terem significado).

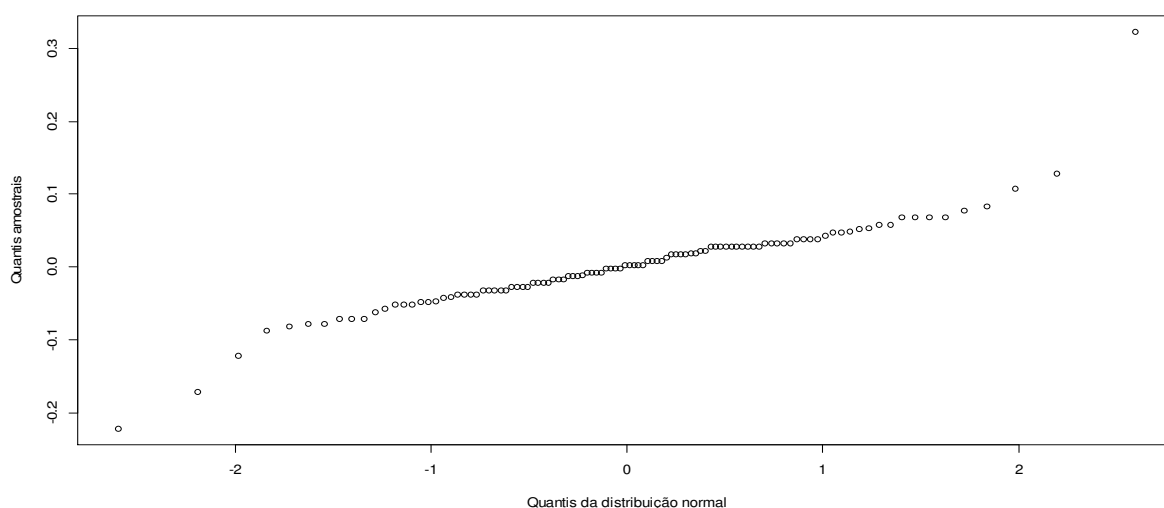


Gráfico 37. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo da Rugosidade – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente ao pH, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, $0.03 \mu\text{m}$ inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre $-0.054 \mu\text{m}$ e $-0.007 \mu\text{m}$).
- Relativamente ao tempo, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 3 meses, que não se distinguem entre si. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, $0.046 \mu\text{m}$ superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre $0.021 \mu\text{m}$ e $0.070 \mu\text{m}$).

Avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras.

As figuras abaixo (Fig. 34 e 35) representam as topografias efetuadas para avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras em TMA no estado inicial e após imersão em saliva.

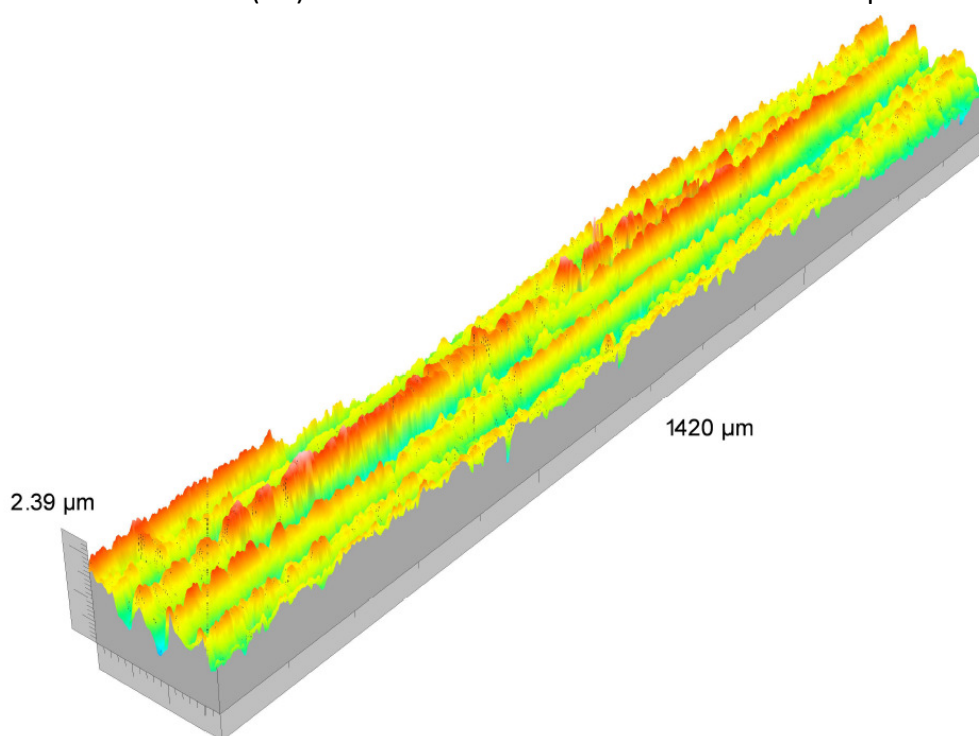


Figura 34. TMA no estado inicial

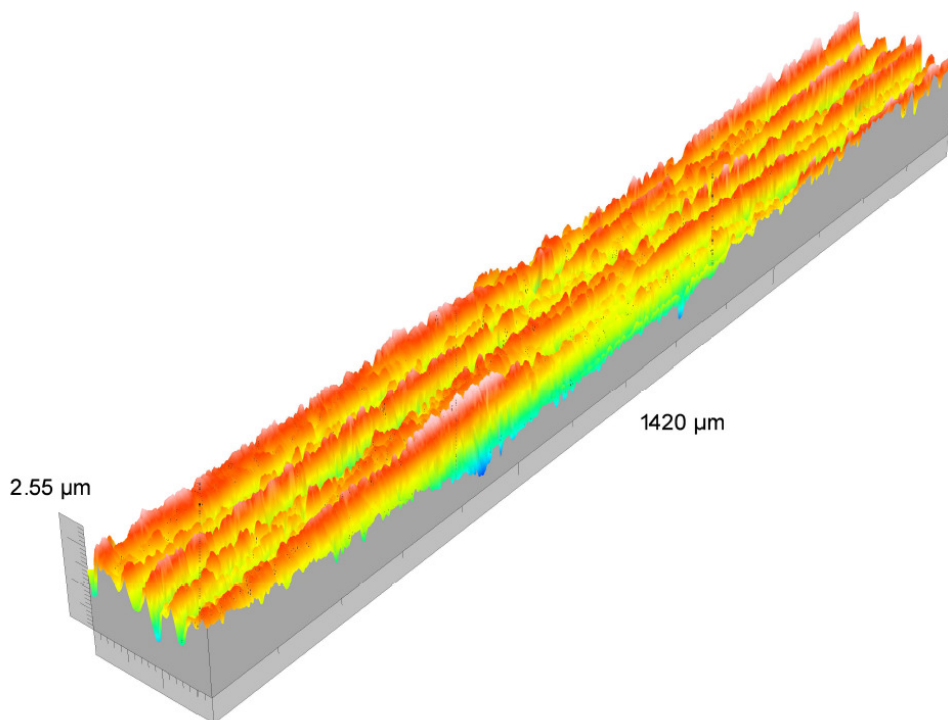


Figura 35. TMA após imersão em saliva

3.2.2. Avaliação do efeito do flúor na rugosidade das molas

3.2.2.1. Molas de aço

O número de molas sujeitas a cada combinação dos fatores experimentais encontra-se no quadro seguinte. Todos os testes foram realizados por ordem aleatória.

	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
pH4	15	-----	11	10	11	10
pH6.75	15	-----	11	10	11	10

Tabela 30. Número de Molas Testadas (Aço)

Os testes são realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que são testadas nos dois momentos (não foi possível efetuar os testes para 1 mês e 22600 ppm de flúor). Continua a utilizar-se um nível de significância de 5% para todos os testes.

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da rugosidade para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro B3-anexo3), permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade não é rejeitada para pH4 e é rejeitada para pH 6.75 (1500 ppm de flúor).
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade não é rejeitada apenas no caso de pH 6.75 e 22600 ppm de flúor.

- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada para 1500 ppm de flúor e não é rejeitada para 22600 ppm de flúor (em ambos os valores de pH).

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro B4- anexo3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido.

Os resultados permitem constatar que, com exceção de 5 meses, pH4 e para 1500 ppm de flúor, as diferenças médias são sempre significativas (valor-p inferior a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a rugosidade média aumenta após a imersão em flúor; no primeiro caso, a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da rugosidade não se altera (valor-p superior a 5%).

Por fim, apresenta-se, no quadro em anexo (Quadro B5- anexo3), a média e o desvio padrão da diferença da rugosidade para cada pH, duração e nível de flúor.

Determinação das causas das diferenças:

Com o objetivo de determinar quais os fatores experimentais (pH, tempo de imersão em saliva e flúor) que afetam significativamente as diferenças da rugosidade, ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla. Este modelo permite concluir quais os fatores experimentais que efetivamente influenciam as diferenças e em que sentido. Ou seja, a variável explicada (resposta) são as diferenças e as variáveis explicativas do modelo (regressores) são portanto os fatores experimentais.

Para o ajustamento, elimina-se do modelo os fatores experimentais cujo parâmetro estimado não for estatisticamente significativo (nível de significância de 5%). Foi também efetuado um ajustamento em passos (“stepwise”) e os resultados são coincidentes ou apresentam apenas ligeiras diferenças sem significado.

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são o pH, o tempo (distinguindo-se todas as durações) e o nível de flúor. Na tabela 31 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respectivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
pH 6.75	0.029	2.138	0.034	[0.002,0.056]
Tempo – 3 meses	0.057	3.480	0.001	[0.024,0.089]
Tempo – 5 meses	0.053	2.665	0.009	[0.014,0.092]
Flúor – 22600 ppm	-0.080	-5.938	0.000	[-0.107,-0.054]

Tabela 31. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor na Rugosidade – Aço Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respectivamente 0.261 e 0.238 e a estatística F de Snedcor (4 e 125 graus de liberdade) da significância global da regressão é 11.1, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma fraca qualidade do ajustamento (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.6). Os resíduos de estimação mostram uma boa proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil 38 (existindo apenas alguns pequenos desvios).

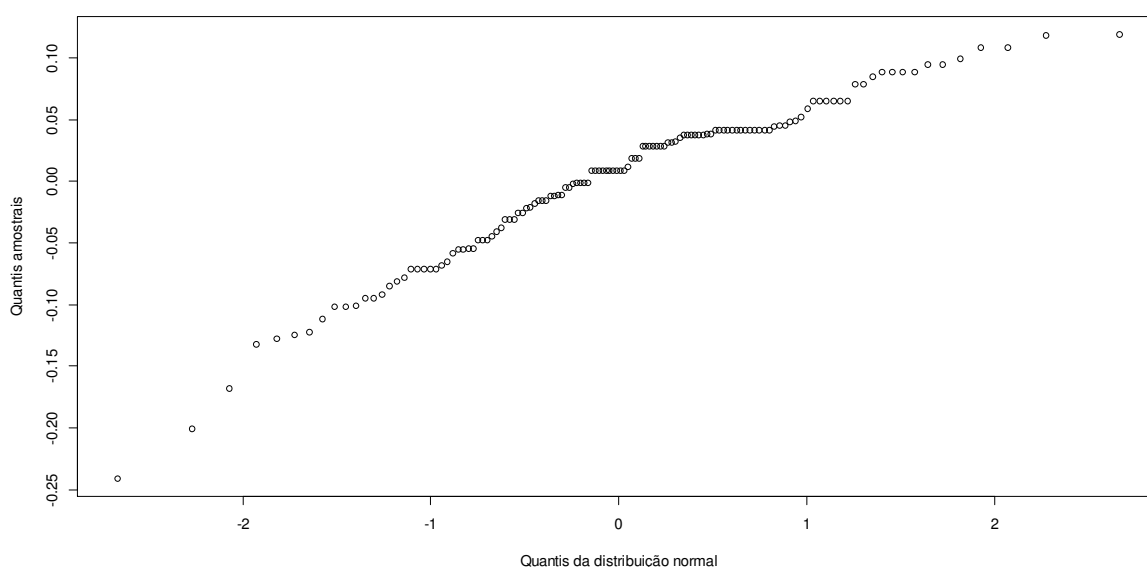


Gráfico 38. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo da Rugosidade com Flúor – Aço

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente ao pH, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH 6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH 4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.029 μm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre 0.002 μm e 0.056 μm).
- Relativamente ao tempo, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.057 μm superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com

o intervalo de confiança, este valor pode estar entre $0.024\ \mu\text{m}$ e $0.089\ \mu\text{m}$). De forma semelhante, constata-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 5 meses é superior à diferença das molas sujeitas a uma duração de 1 mês. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, $0.053\ \mu\text{m}$ superior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é superior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre $0.014\ \mu\text{m}$ e $0.092\ \mu\text{m}$). Em resumo, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é a mais elevada, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses, mas note-se que estas duas diferenças são quase iguais, ou seja, que o efeito destas duas durações na rugosidade das molas é quase o mesmo. Por fim, as molas sujeitas a 1 mês têm a menor diferença.

- Relativamente ao flúor, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, $0.08\ \mu\text{m}$ inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre $-0.107\ \mu\text{m}$ e $-0.054\ \mu\text{m}$).

Avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras.

A figura abaixo (Fig. 36) representa a topografia efetuada para avaliação da textura tridimensional (3D) de uma amostra em aço após imersão em saliva fluoretada.

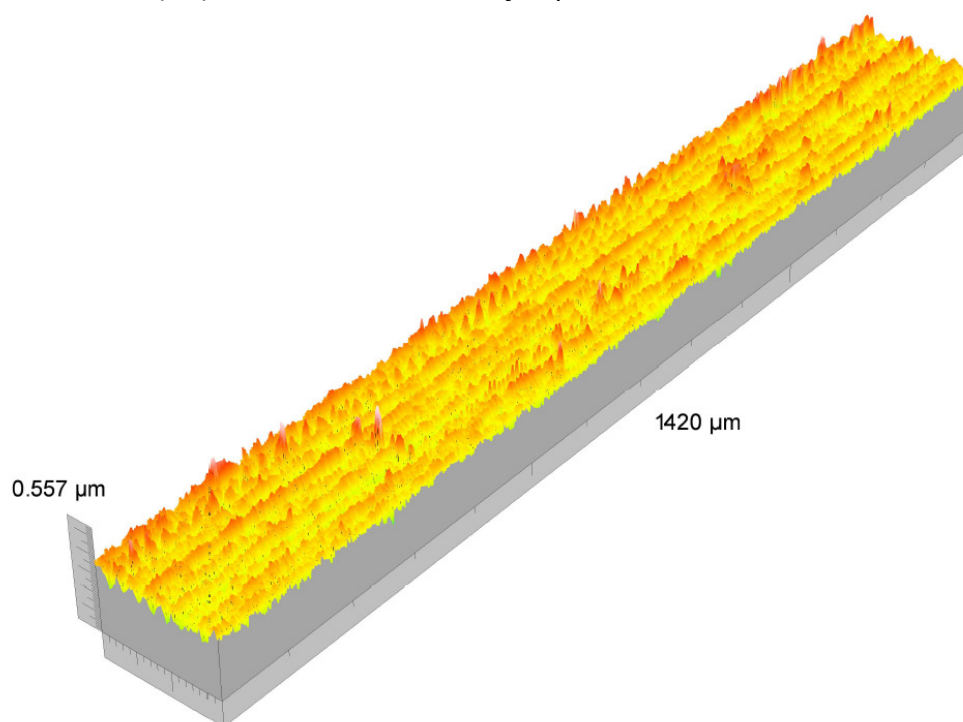


Figura 36. Aço após imersão em saliva fluoretada.

3.2.2.2. Molas de TMA

O número de molas sujeitas a cada combinação dos fatores experimentais encontra-se na tabela 32. Todos os testes foram realizados por ordem aleatória.

	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
pH4	12	-----	11	10	10	10
pH6.75	12	-----	11	10	11	10

Tabela 32. Número de Molas Testadas (TMA)

Os resultados do teste de normalidade das diferenças da rugosidade para as três durações de tempo e os dois níveis de flúor considerados, indicados no quadro em anexo (Quadro B6 - anexo3), permitem concluir o seguinte:

- Duração de 1 mês – a hipótese de normalidade é rejeitada para pH 4 e não o é para pH 6.75 (1500 ppm).
- Duração de 3 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas no caso de pH 6.75 e 22600 ppm de flúor.
- Duração de 5 meses – a hipótese de normalidade é rejeitada apenas para pH 6.75 e 1500 ppm de flúor.

Os resultados do teste da significância das diferenças da força encontram-se indicados no quadro em anexo (Quadro B7- anexo3). Relembre-se que se recorre ao teste t-Student ou ao teste de Wilcoxon (amostras emparelhadas em ambos) consoante a normalidade das diferenças não tenha sido rejeitada ou o tenha sido. Os resultados permitem constatar o seguinte:

- Duração de 1 mês – as diferenças médias são ambas significativas (valor-p inferior ou igual a 5%, levando a rejeitar a hipótese nula), o que significa que a rugosidade média aumenta após a imersão em flúor (1500 ppm de flúor).
- Duração de 3 meses – a diferença média é significativa e positiva para pH 4 e 1500 ppm de flúor, o que significa que a rugosidade média diminui após a imersão em flúor; a diferença média é significativa e negativa para pH 4 e 22600 ppm de flúor, o que significa que a rugosidade média aumenta após a imersão em flúor; a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da rugosidade não se altera (valor-p superior a 5%) para os restantes casos (pH 6.75 e ambos os níveis de flúor).
- Duração de 5 meses – a diferença média não é significativa, ou seja, não se rejeita a hipótese de que o valor médio da rugosidade não se altera para ambos os pH e 1500 ppm de flúor; a diferença média é significativa para ambos os pH e 22600 ppm de flúor, o que significa que a rugosidade média aumenta após a imersão em flúor.

Por fim, apresenta-se, no quadro em anexo (Quadro B8- anexo3), a média e o desvio padrão da diferença da rugosidade para cada pH, duração e nível de flúor.

Determinação das causas das diferenças:

Com o objetivo de determinar quais os fatores experimentais (pH, tempo de imersão em saliva e flúor) que afetam significativamente as diferenças da rugosidade, ajusta-se um modelo de regressão linear múltipla (tal como para as molas de aço). Este modelo permite concluir quais os fatores experimentais que efetivamente influenciam as diferenças e em que sentido. Ou seja, a variável explicada (resposta) são as diferenças e as variáveis explicativas do modelo (regressores) são portanto os fatores experimentais.

Para o ajustamento, elimina-se do modelo os fatores experimentais cujo parâmetro estimado não for estatisticamente significativo (nível de significância de 5%). Foi também efetuado um ajustamento em passos (“stepwise”) e os resultados são coincidentes ou apresentam apenas ligeiras diferenças sem significado.

Os resultados da estimação mostram que as variáveis explicativas a reter no modelo (aquelas cujos parâmetros estimados têm valor-p inferior ao nível de significância adotado de 5%, mostrando que são estatisticamente significativos), ou seja, aquelas que efetivamente afetam as diferenças do momento são o pH e o nível de flúor. A tabela 33 mostra os resultados da estimação do modelo de regressão, o que inclui as estimativas dos parâmetros, os respetivos valor-p e os intervalos de confiança (a 95%).

Fatores experimentais	Parâmetros estimados			
	Estimativa	Estat-t	valor-p	IC
pH 6.75	-0.044	-2.735	0.007	[-0.076,-0.012]
Flúor – 22600 ppm	-0.125	-7.662	0.000	[-0.158,-0.093]

Tabela 33. Influência dos Fatores Experimentais com Flúor na Rugosidade – TMA Resultados da Estimação do Modelo

Para testar a qualidade do ajustamento deste modelo, o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado são respectivamente 0.356 e 0.345 e a estatística F de Snedcor (2 e 113 graus de liberdade) da significância global da regressão é 31.3, conduzindo a um valor-p de aproximadamente 0, o que significa que o modelo estimado é globalmente significativo e mostra uma qualidade do ajustamento um pouco fraca (o coeficiente de determinação é baixo), mas ainda assim significativa. Além disso, as correlações entre os parâmetros estimados são todas baixas ou muito baixas (a correlação mais forte em valor absoluto encontrada é 0.63). Os resíduos de estimação mostram uma boa proximidade em relação à normalidade, conforme se pode observar no gráfico quantil-quantil seguinte.

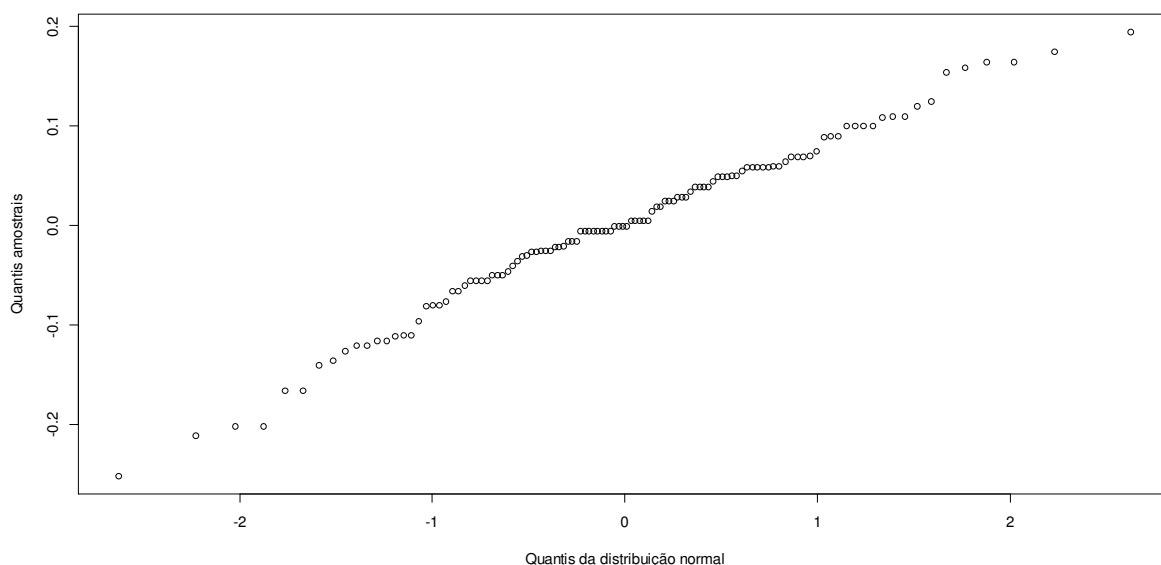


Gráfico 39. Gráfico QQ dos Resíduos do Modelo da Rugosidade com Flúor – TMA

Consequentemente, é possível afirmar que o modelo se adequa satisfatoriamente aos dados. Assim, das estimativas dos parâmetros, resulta o seguinte:

- Relativamente ao pH, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH 6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.044 μm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.076 μm e -0.012 μm).
- Relativamente ao flúor, a diferença da rugosidade das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 0.125 μm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -0.158 μm e -0.093 μm).

Avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras.

A figura abaixo (Fig. 37) representa a topografia efetuada para avaliação da textura tridimensional (3D) de uma amostra em TMA após imersão em saliva fluoretada.

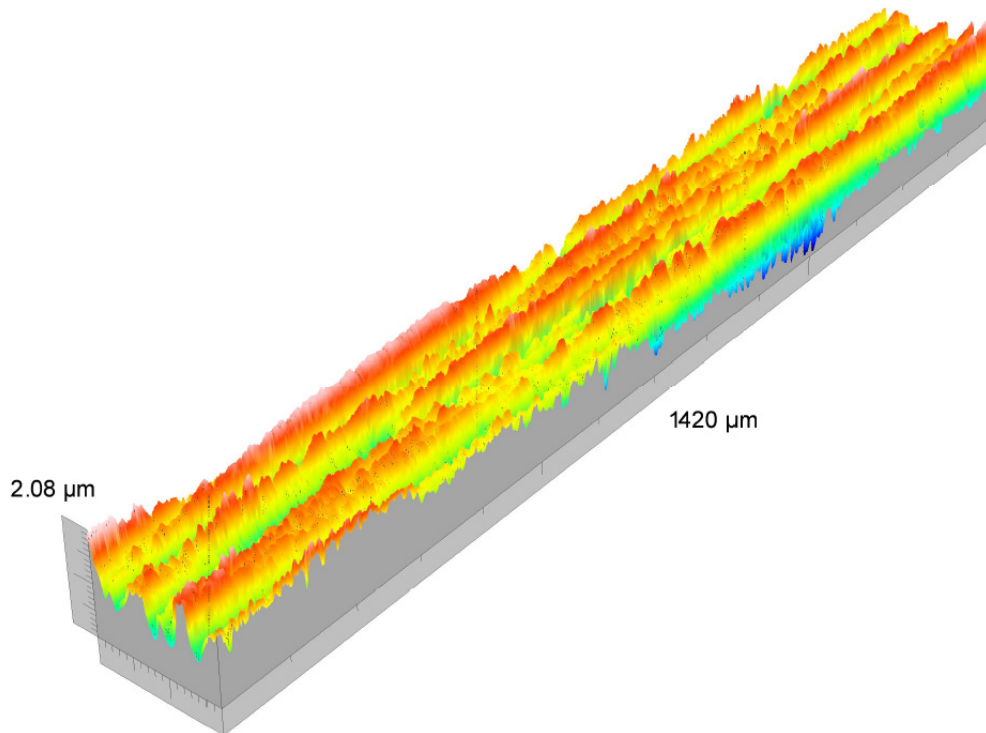


Figura 37. TMA após imersão em saliva fluoretada.

3.3. Microscopia eletrônica de varrimento (MEV)/ Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS)

Os resultados da observação em microscopia eletrônica de varrimento e a análise por espectrometria de energia dispersiva estão apresentados segundo o tipo de liga e para as condições ensaiadas.

3.3.1. Avaliação da superfície das molas em MEV, ampliação x 180

As imagens Aa, Ba, Ca, obtidas em MEV, ilustradas na figura 48, permitem observar que na condição conforme recebido do fabricante, o aço apresenta-se com linhas que podem ser consideradas como irregularidades no acabamento de superfície. Essas linhas acompanham a curvatura do arame nos locais denominadas B e C das molas.

As imagens Atma, Btma e Ctma, obtidas em MEV, ilustradas na mesma figura 38, permitem observar para a condição conforme recebido do fabricante, que o arame TMA apresenta um aspeto de rugoso, caracterizado por linhas de irregularidades orientadas longitudinalmente, provenientes provavelmente do seu processo de conformação mecânica.

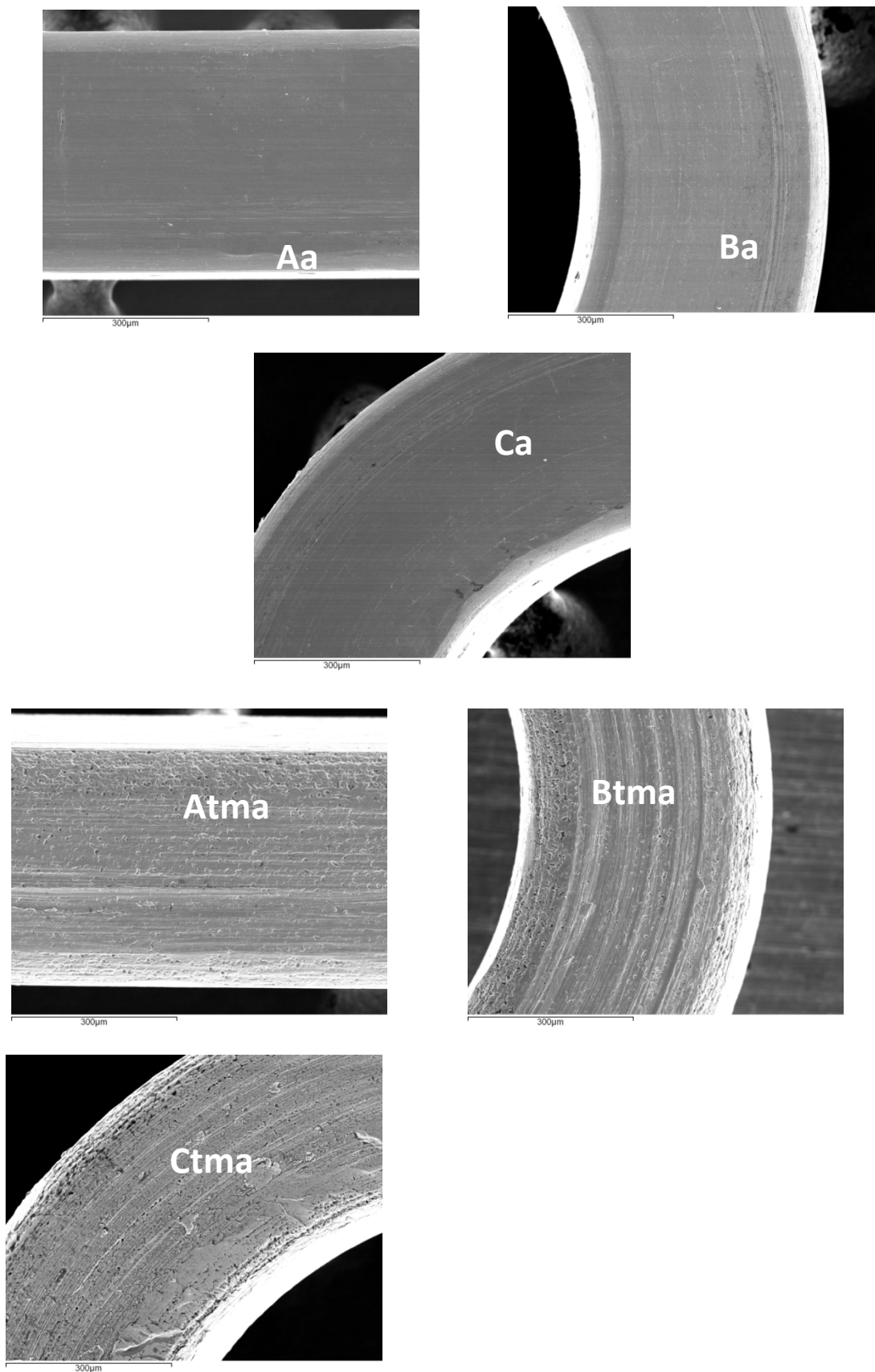


Figura 38. Superfície das molas em MEV, ampliação x 180

3.3.2. Avaliação da superfície das molas em aço e TMA/ pH4 e pH6,75 / ampliação X 500, X 2000, X 5000

A cada figura corresponde determinado pH e aumento, às imagens da figura corresponde determinada condição do estudo, apresentadas segundo o esquema abaixo exemplificado:



3.3.2.1. Avaliação da superfície das molas em aço pH 4 e pH 6,75 em MEV, ampliação x 500 – Local A – Figura 39 e 40, respectivamente

Ao aumento no tempo de imersão e concentração de íon flúor corresponde um aumento dos sinais de irregularidade da superfície em ambas as condições de pH. Na comparação de condições idênticas para pH diferentes, em pH 4 o padrão de irregularidade é nitidamente superior.

No gráfico 40 observa-se o resultado da análise por EDS do aço como recebido. No eixo das abcissas, a energia dos elementos químicos encontrados em Kiloelétron volt (KeV). O eixo

das ordenadas indica as intensidades dos elementos principais e secundários. Os elementos constituintes e as suas proporções estão de acordo com os dados recebidos do fabricante (ver anexo/ormco tabela)

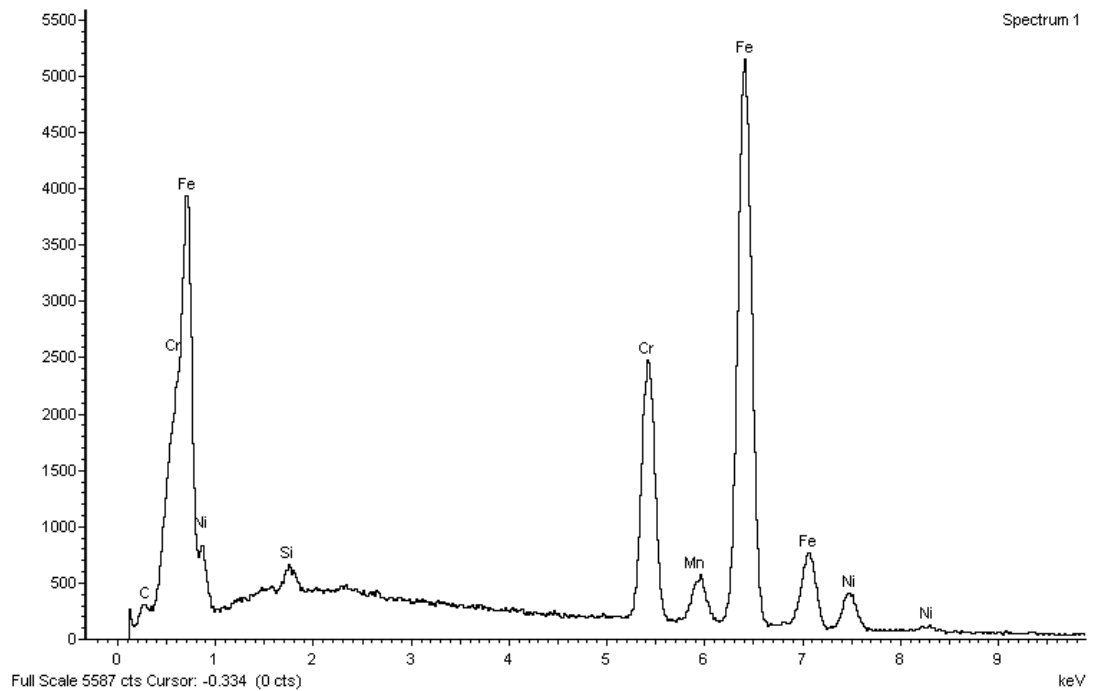


Gráfico 40. EDS Aço como recebido

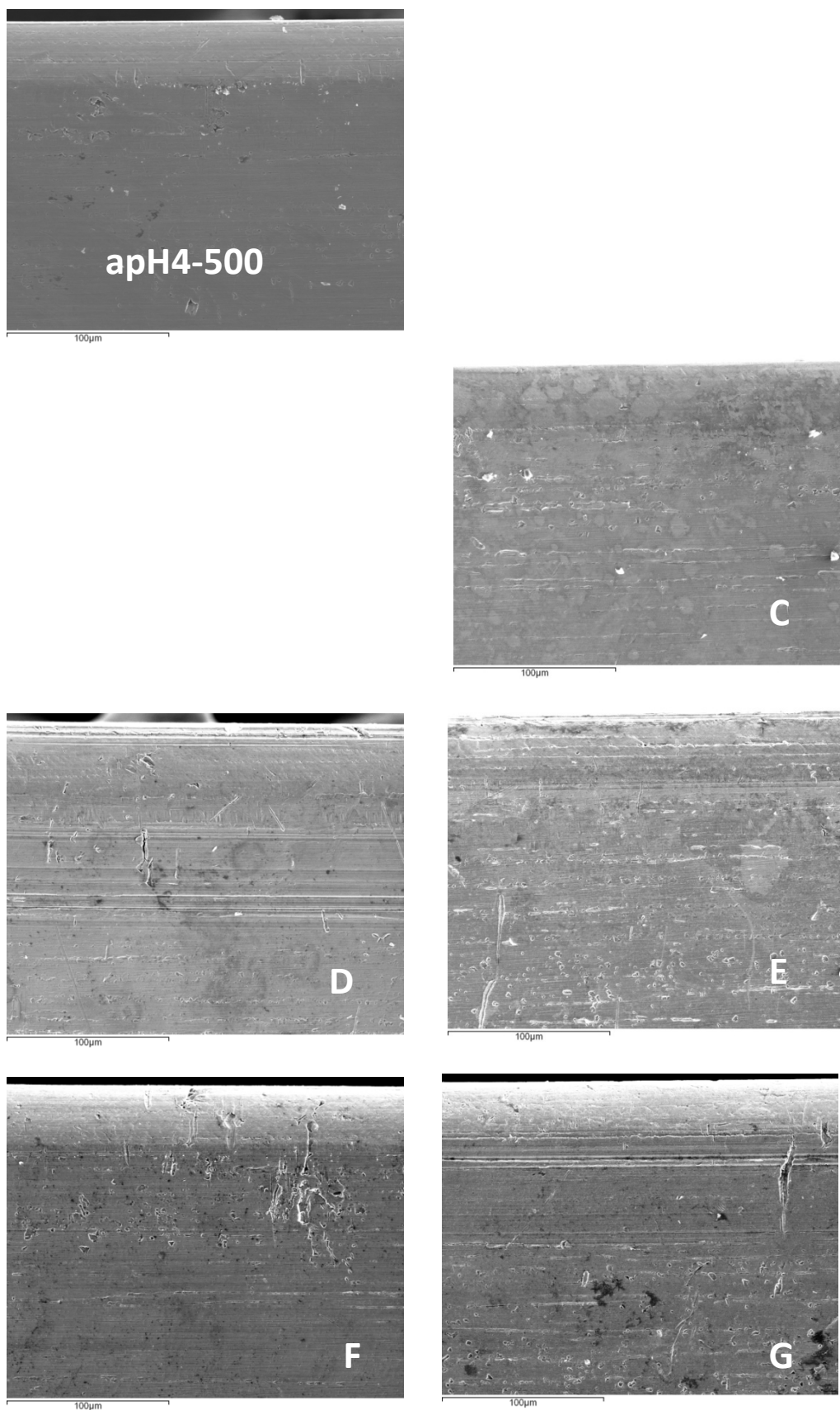


Figura 39. Superfície das molas de aço a pH 4, ampliação x 500

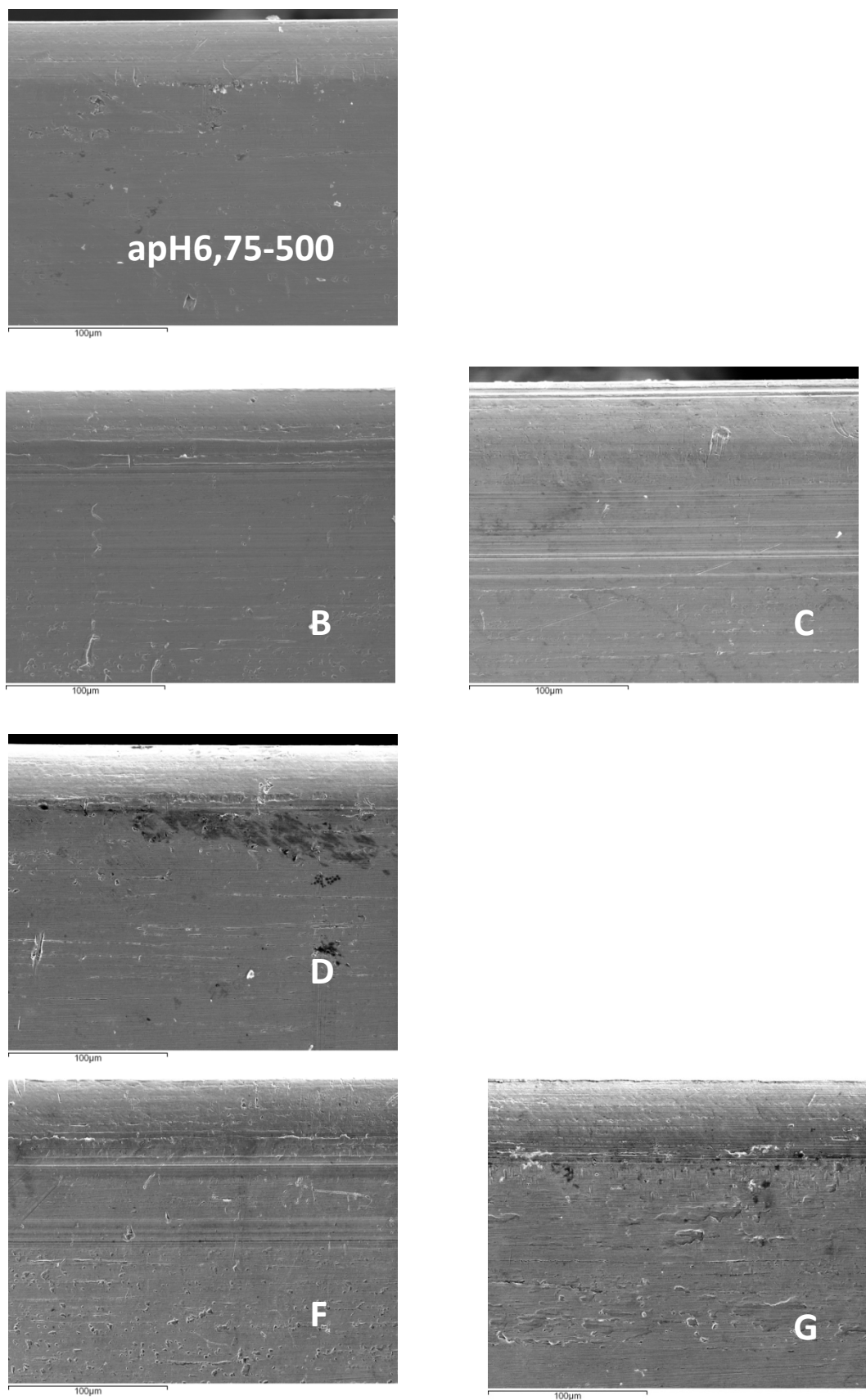


Figura 40. Superfície das molas de aço a pH 6,75, ampliação x 500

3.3.2.2. Avaliação da superfície das molas em aço pH 4 e pH 6,75 em MEV, ampliação x 2000 – Local A – Figura 41 e 42, respetivamente.

Ao aumento do tempo de imersão e concentração de ião flúor corresponde um aumento dos sinais de irregularidade da superfície para ambos os pHs, mais numerosos para a condição de pH 4. As linhas de irregularidades (bordos regulares de largura normalmente regular e com fundo visível sem coloração negra) resultantes do processo de fabrico e ranhuras são mais evidentes nas imagens E, F e G da figura respeitante ao pH 4.

No gráfico 41 observa-se o resultado da análise por EDS do aço a pH 4. Os elementos constituintes e as suas proporções apresentam-se na tabela 34.

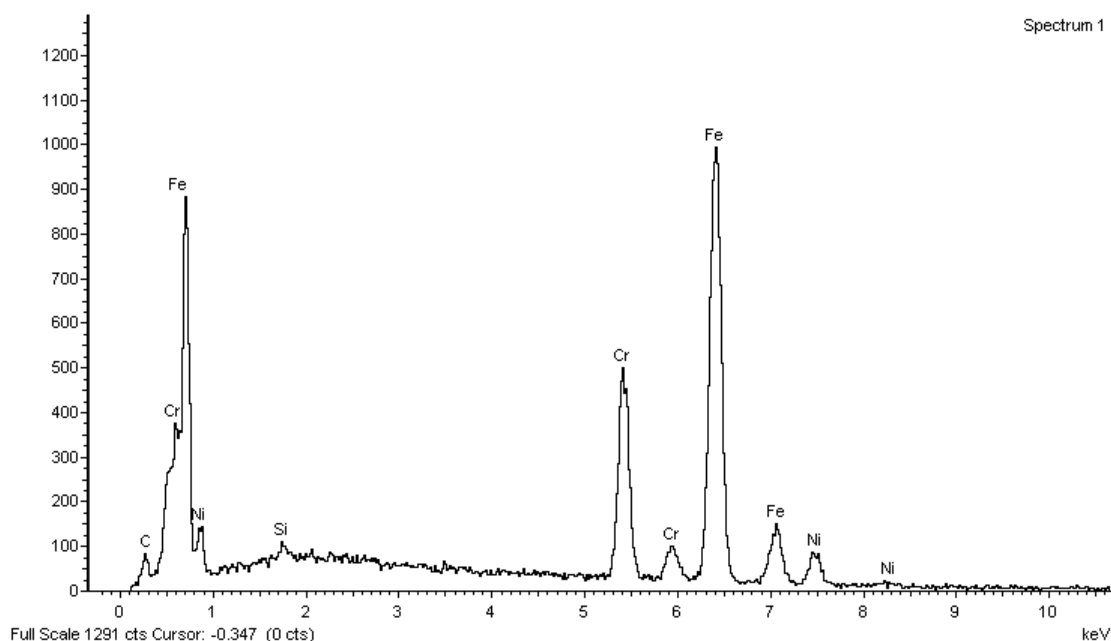


Gráfico 41. EDS Aço a pH4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic %
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	1.36	0.5495	3.04	0.44	12.16
O K	2.18	1.7319	1.55	0.32	4.64
Si K	0.23	0.8204	0.35	0.11	0.59
Cr K	16.37	1.1039	18.20	0.41	16.81
Mn K	0.96	0.9707	1.22	0.32	1.06
Fe K	53.52	0.9712	67.59	0.71	58.14
Ni K	6.10	0.9289	8.06	0.53	6.59
Totals			100.00		

Tabela 34. EDS Aço a pH 4 - elementos

No gráfico 42 observa-se o resultado da análise por EDS do aço a pH 6,75. Os elementos constituintes e as suas proporções apresentam-se na tabela 35.

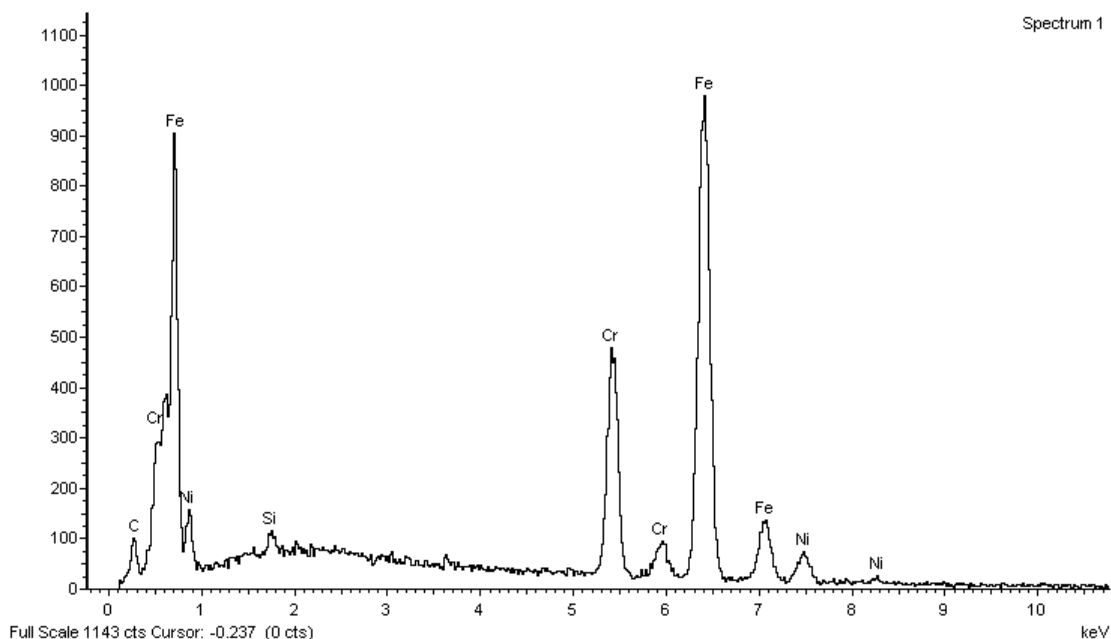


Gráfico 42. EDS Aço a pH 6,75

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic %
	Conc.	Corn.		Sigma	
C K	1.79	0.5533	4.03	0.48	15.54
O K	2.40	1.7016	1.76	0.34	5.08
Si K	0.37	0.8239	0.56	0.12	0.92
Cr K	16.46	1.0996	18.66	0.41	16.61
Fe K	52.65	0.9656	68.00	0.70	56.35
Ni K	5.18	0.9251	6.98	0.53	5.50
Totals			100.00		

Tabela 35. EDS Aço a pH 6,75

Os valores obtidos da análise EDS para os diferentes pHs são sobreponíveis, verificam-se ligeiras diferenças percentuais nos valores apresentados nas tabelas 34 e 35. As molas observadas no estado de inicial e após imersão apresentam os mesmos constituintes.

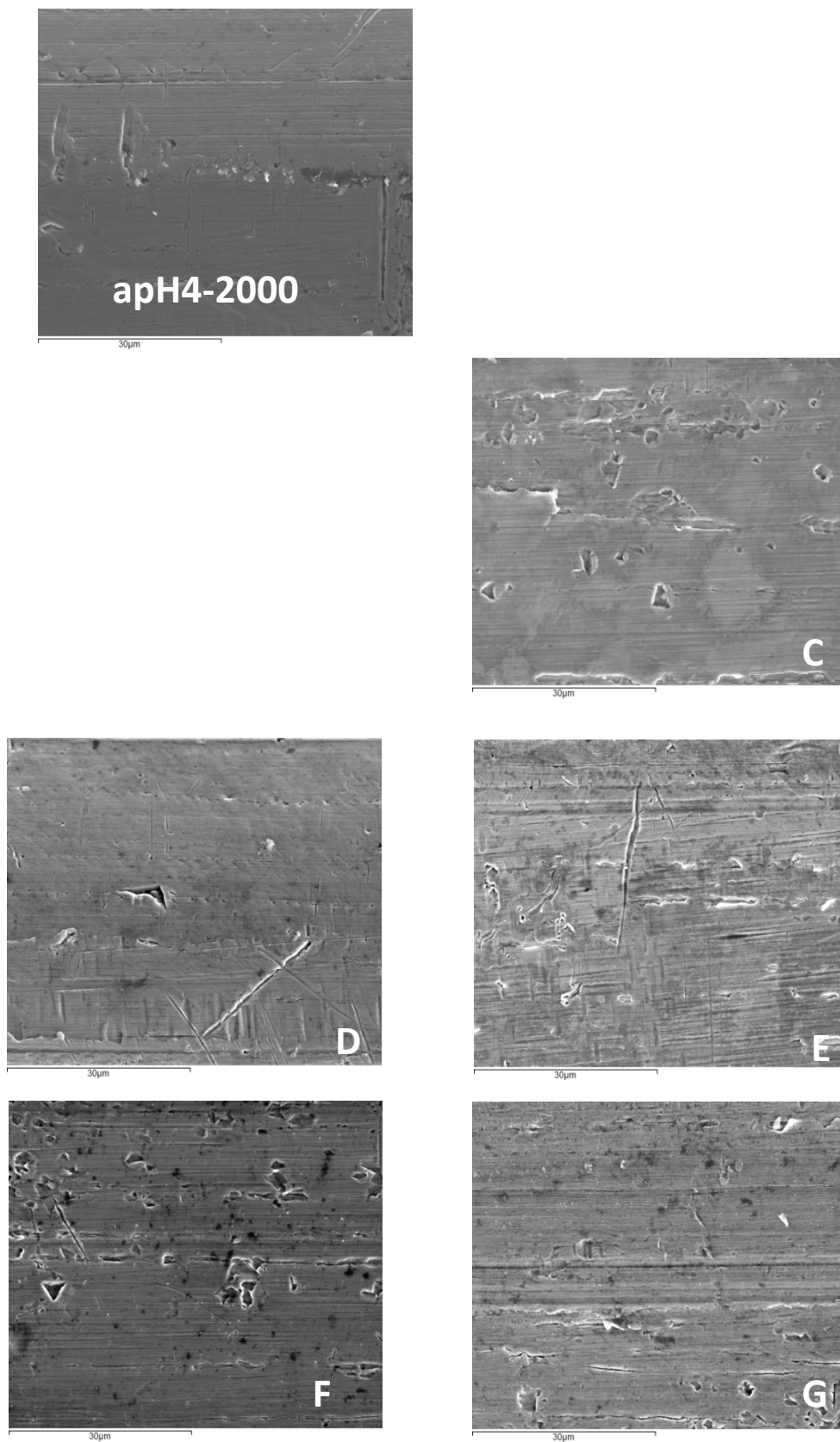


Figura 41. Superfície das molas de aço a pH 4, ampliação x 2000

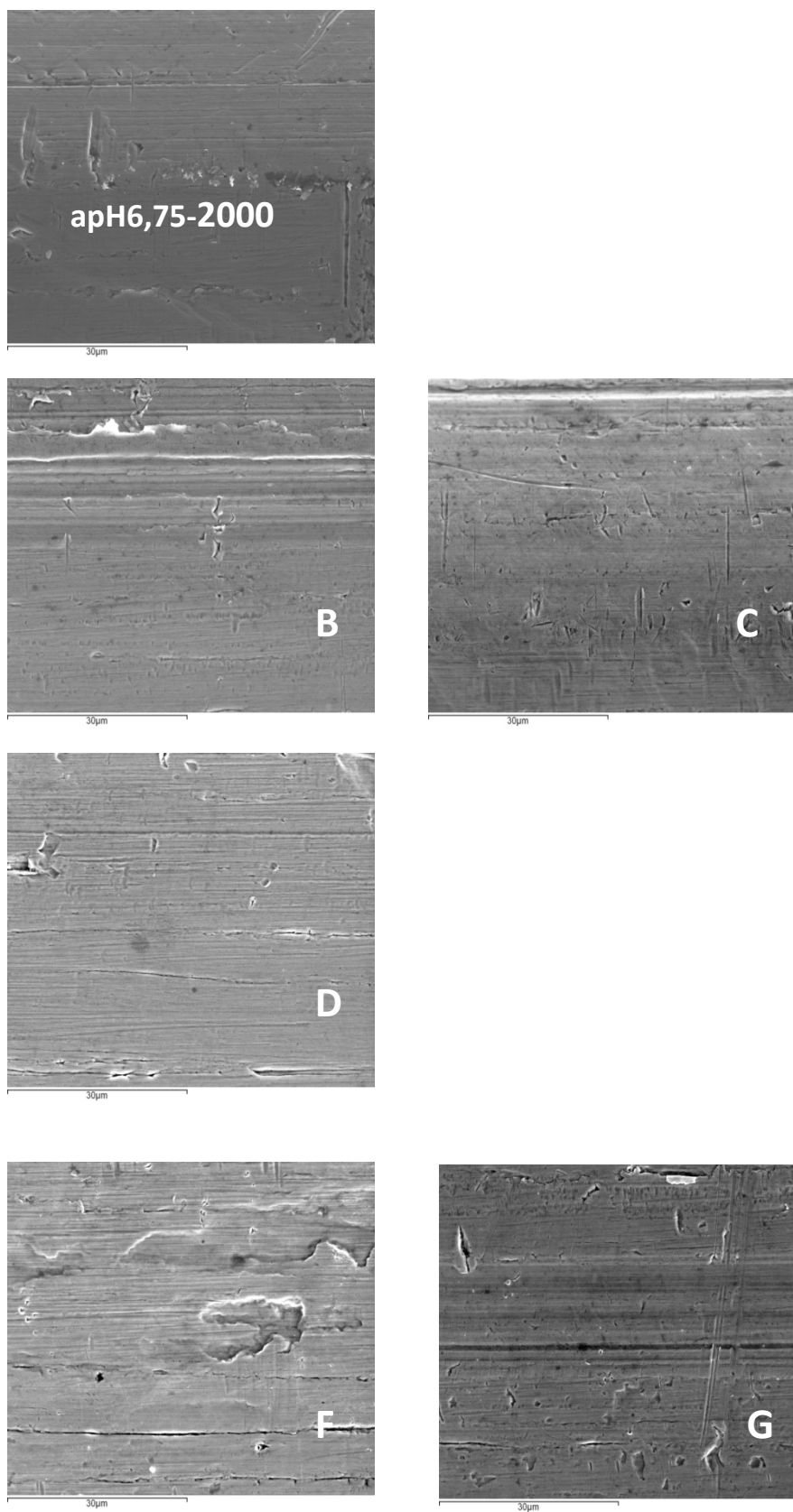


Figura 42. Superfície das molas de aço a pH 6.75, ampliação x 2000

3.3.2.3. Avaliação da superfície das molas em aço em MEV, ampliação x 5000 – local A, B e C

3.3.2.3.1. Avaliação da superfície das molas em aço pH 4 em MEV, ampliação x 5000 – local A, B e C – Figura 43, 44 e 45, respectivamente.

As imagens B ou C e D, em qualquer uma das figuras, apresentam menor sinal de rugosidade superficial. Nas três últimas imagens, as linhas de irregularidade e poros (interstício entre partículas ou moléculas que constituem a estrutura cristalográfica do metal, normalmente arredondado e com cor negra ao não ser visível o fundo) são mais evidentes. O local que aparentemente apresenta mais sinais de irregularidade é o B (dobra apical), com a presença de fendas (defeito alargado com bordos irregulares de dimensão variável e fundo de cor negra), apresentando a imagem G (t5-22600 ppm) duas fissuras no sentido longitudinal das linhas que ocupam toda a área observada. As partículas que se observam nas duas últimas imagens de cada figura, são mais evidentes na imagem G do local de observação B da mola.

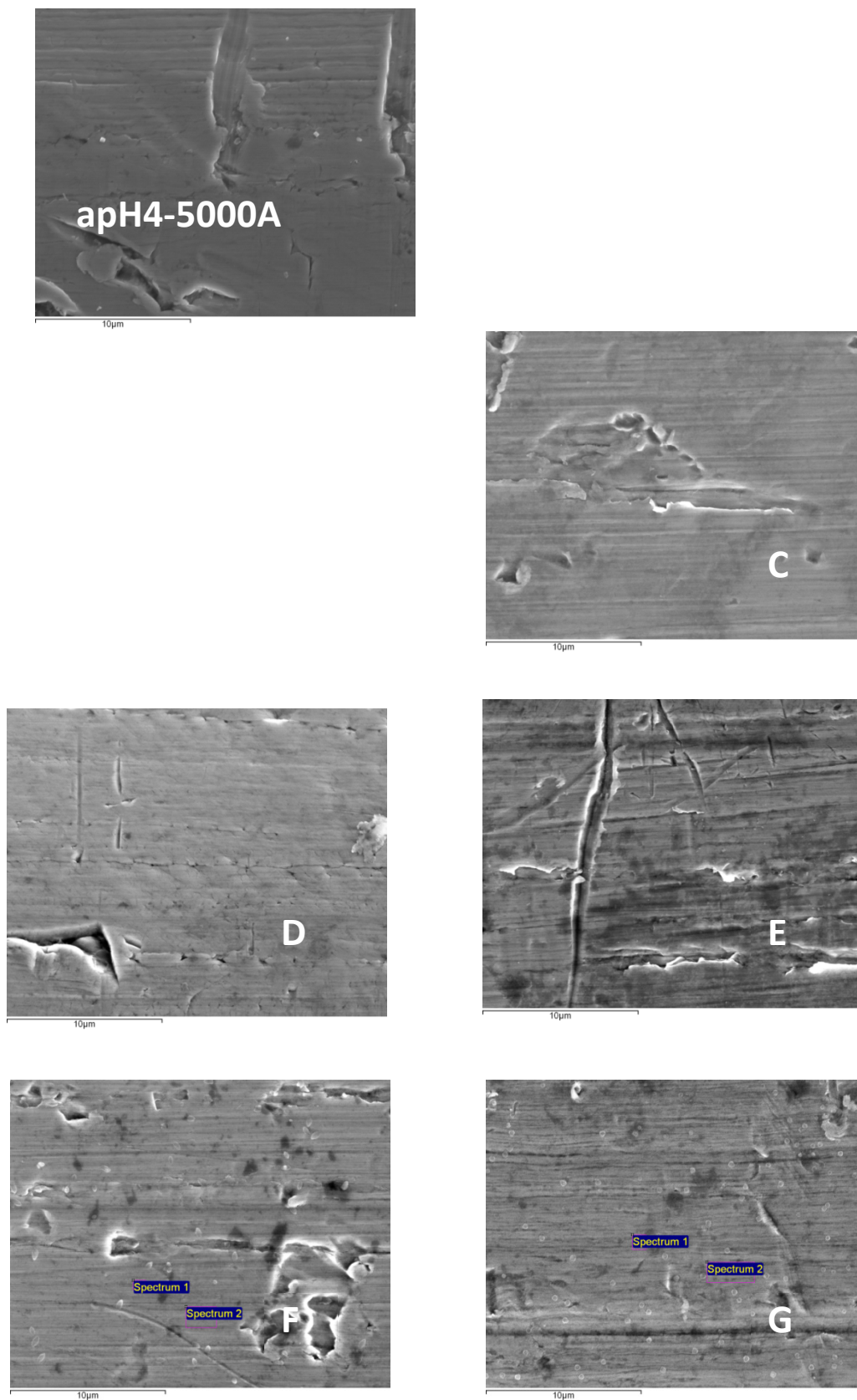


Figura 43. Superfície das molas de aço a pH 4A, ampliação x 5000

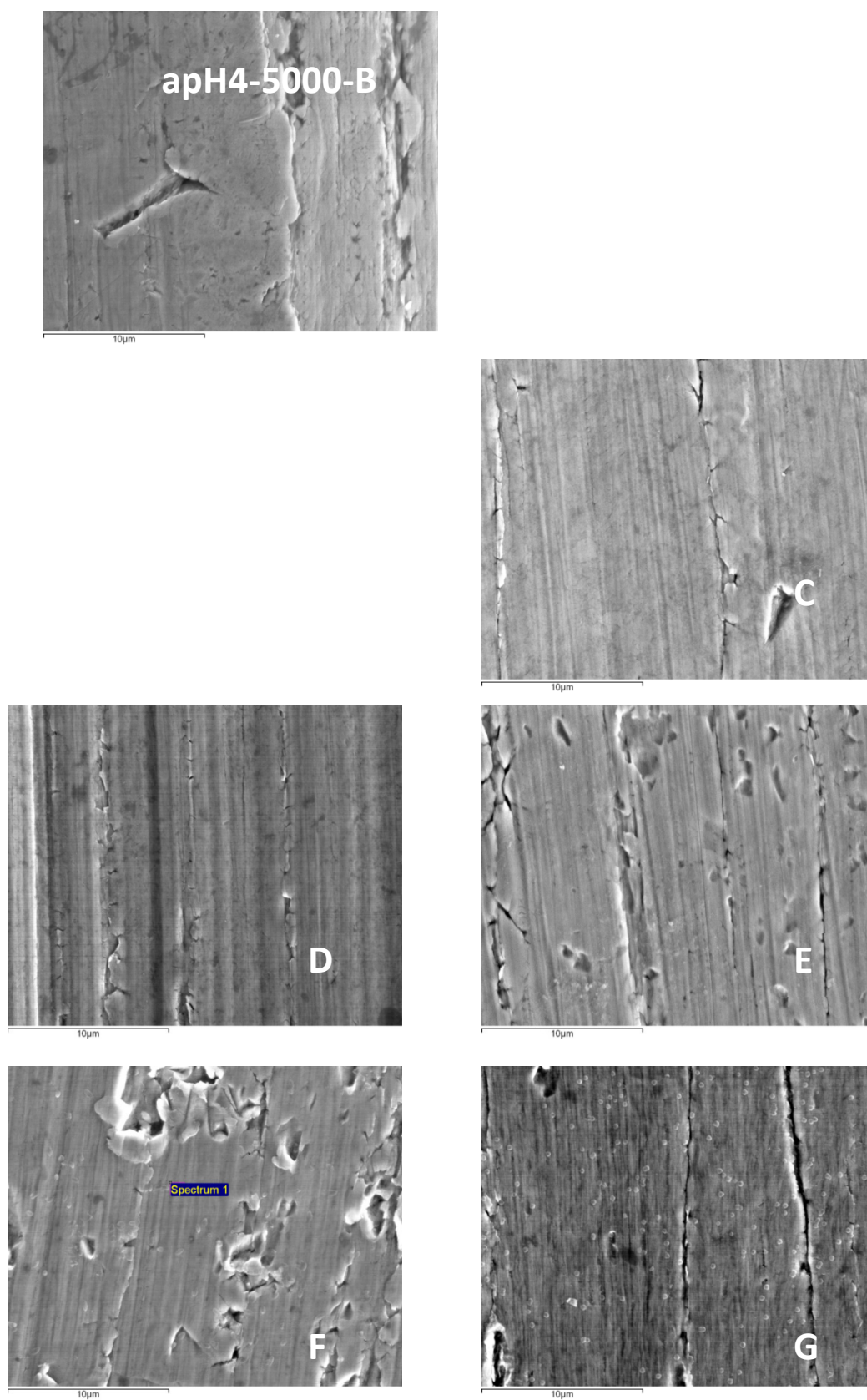


Figura 44. Superfície das molas de aço a pH 4B, aumento x 5000

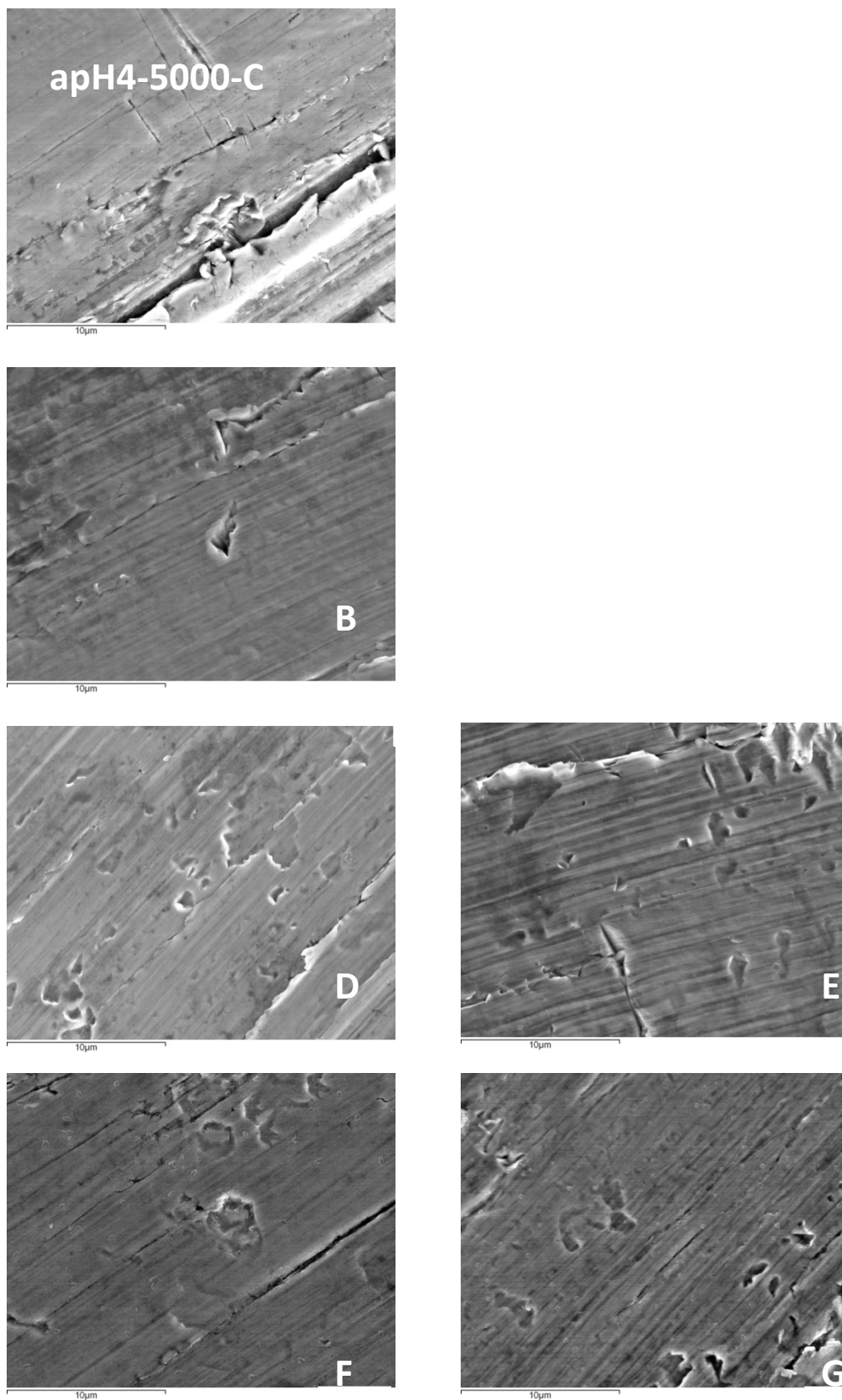


Figura 45. Superfície das molas de aço a pH 4C, ampliação x 5000

3.3.2.3.2. Avaliação da superfície das molas em aço pH 6,75 em MEV, ampliação x 5000 – local A, B e C – Figura 46, 47e 48, respectivamente.

As imagens B ou C e D, em qualquer uma das figuras, apresentam menor sinal de rugosidade superficial. Nas duas últimas imagens, as linhas de irregularidade e pequenas cavidades são mais evidentes. O local de observação com menos sinais de corrosão é o A. As diferenças entre a localização B e C não são claras, dependendo da imagem em comparação.

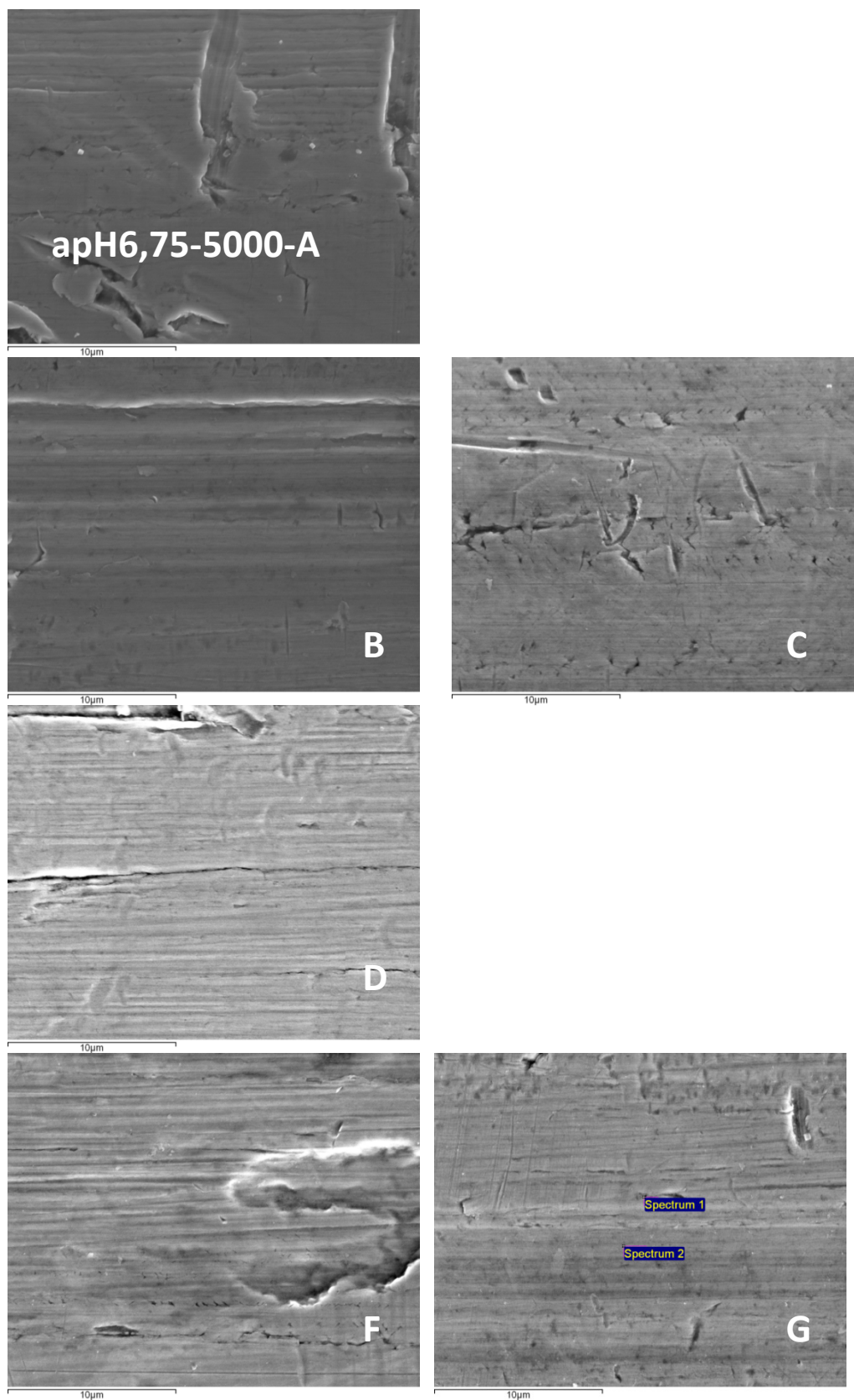


Figura 46. Superfície das molas de aço a pH 6.75A, ampliação x 5000

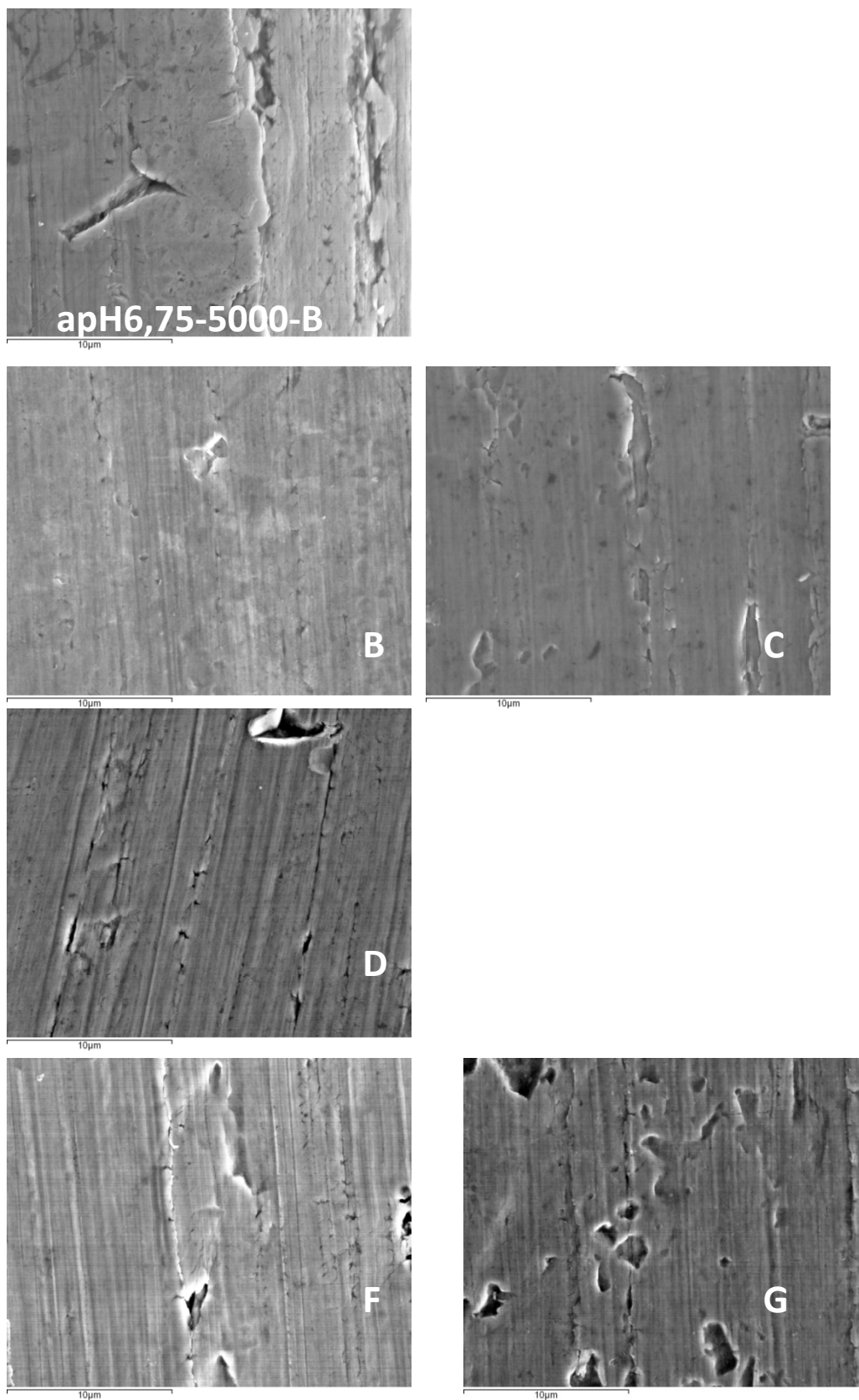


Figura 47. Superfície das molas de aço a pH 6.75B, ampliação x 5000

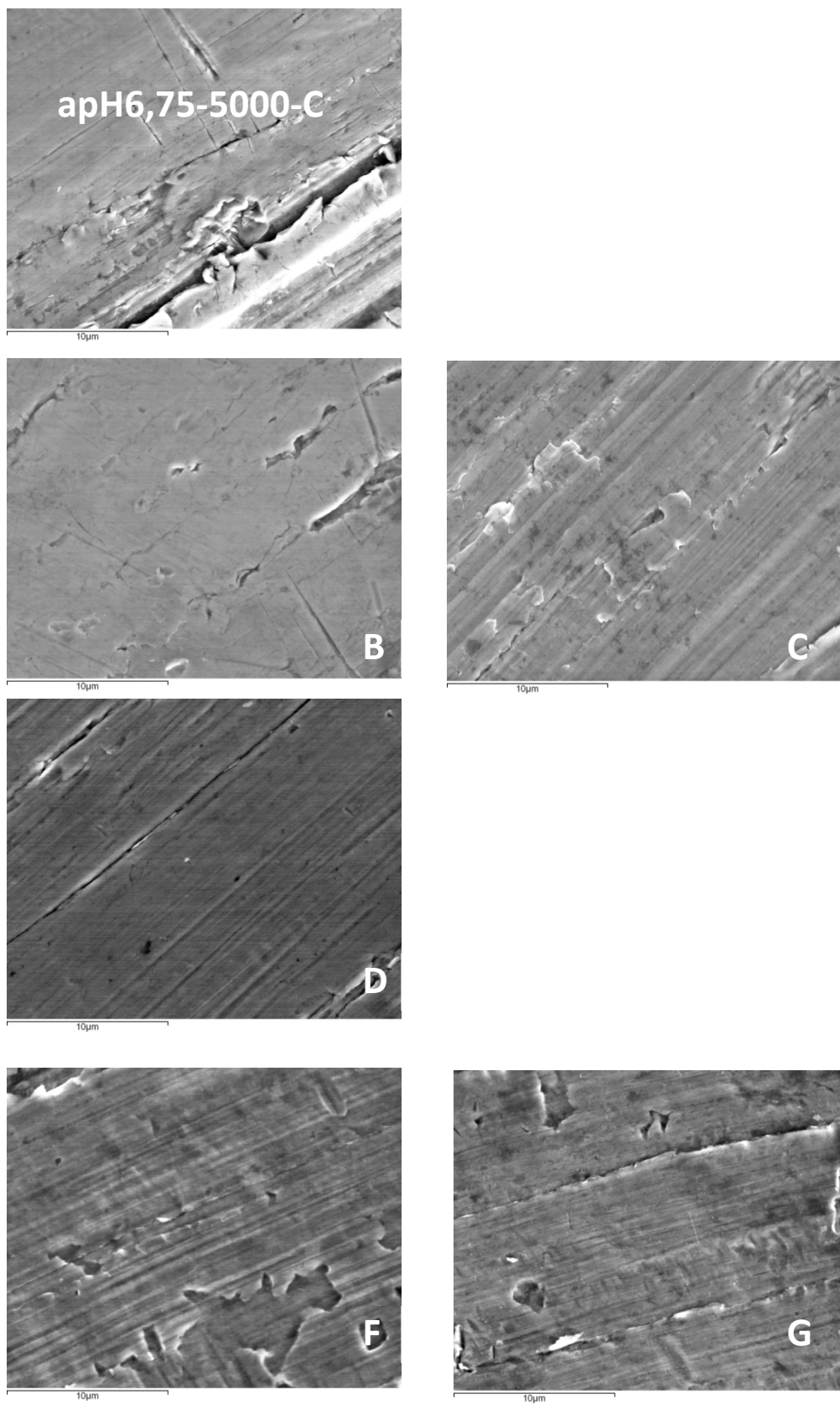
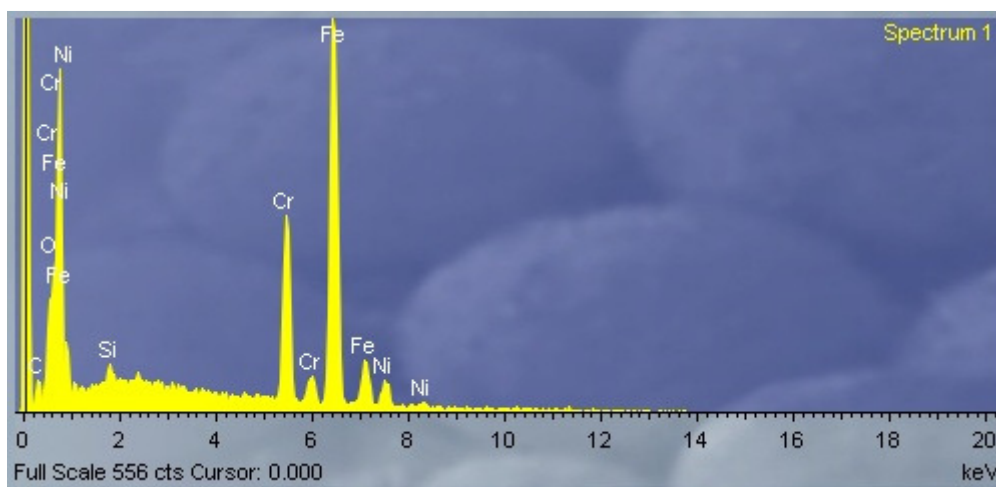
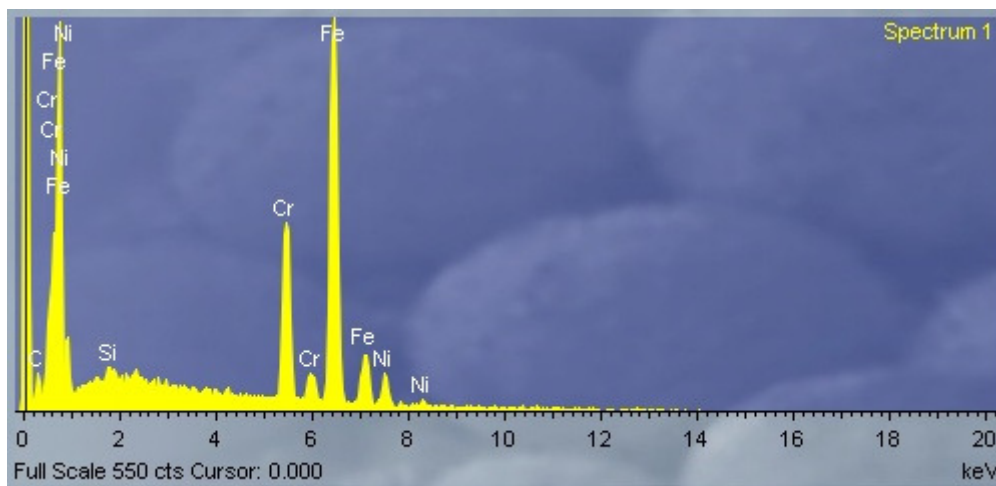


Figura 48. Superfície das molas de aço a pH 6.75C, ampliação x 5000

3.3.2.4. Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS) - aço/pH/flúor

Os resultados da análise por EDS para a liga aço em função do pH e concentração ião flúor são apresentados nos quatro gráficos abaixo indicados. Verifica-se que todas as condições apresentam os mesmos constituintes encontrados, não havendo diferenças significativas a registrar.



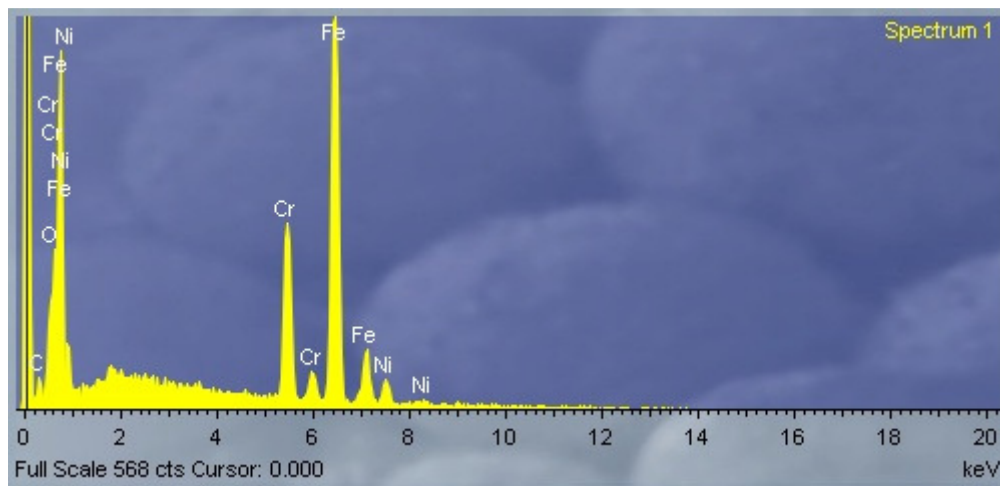


Gráfico 45. EDS - aço/ pH 6,75/ 1500

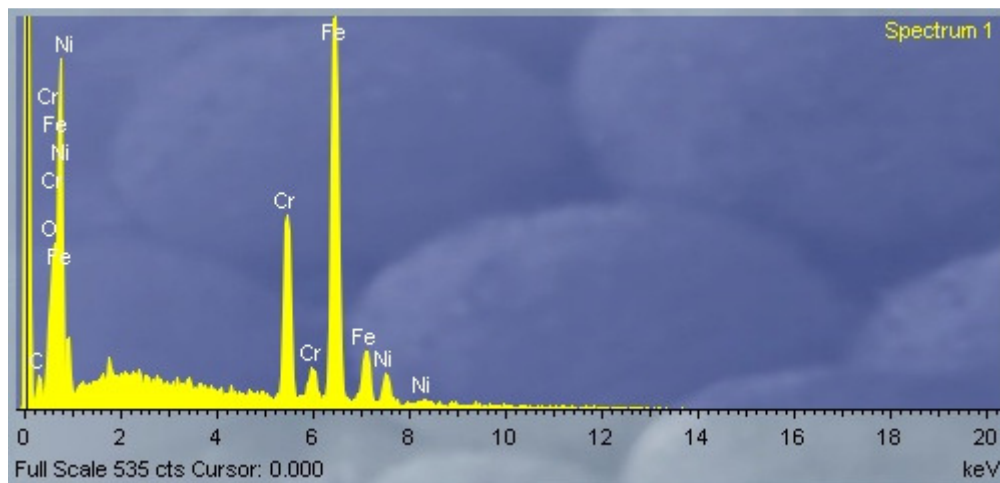


Gráfico 46. EDS- aço/ pH 6,75/ 22600 ppm

Uma análise por EDS foi efetuada a partículas (Fig. 49) presentes na amostra a pH 4 e alta concentração de fluor, não observáveis em outras condições para o aço. O gráfico resultante (gráfico 47) evidencia a presença do elemento cálcio, não presente nos quatro gráficos anteriores.

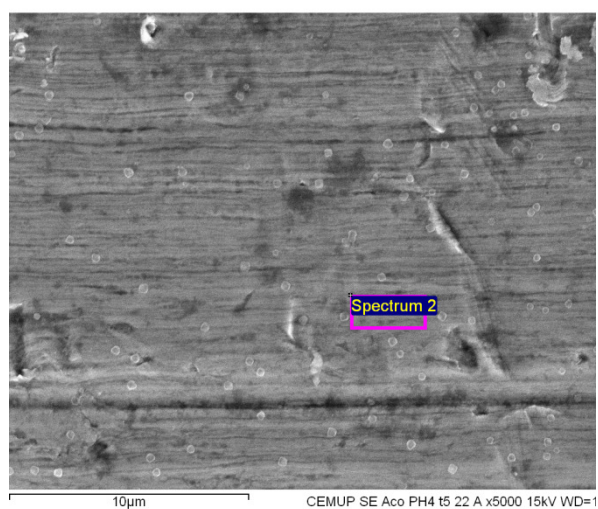


Figura 49. EDS a partículas

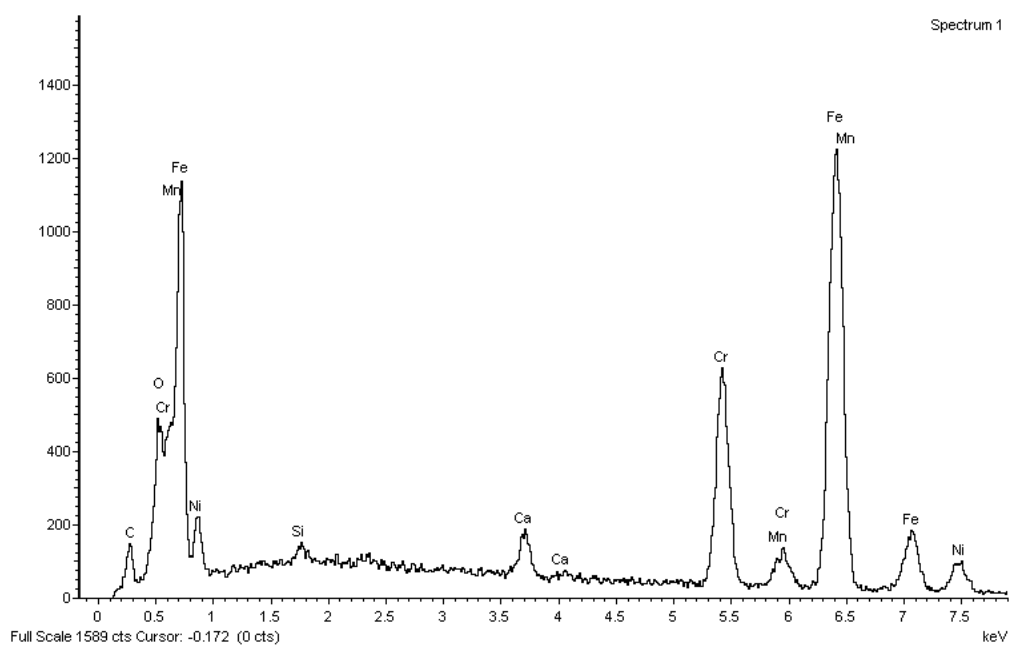


Gráfico 47. EDS aço/ pH 4/ 22600 ppm

3.3.2.5. Avaliação da superfície das molas em TMA pH4 e pH 6,75 - ampliação X 500, X 2000, X 5000

3.3.2.5.1. Avaliação da superfície das molas em TMA pH 4 e pH 6,75 em MEV, ampliação x 500 – Local A – Figura 49 e 50, respetivamente.

A superfície do TMA caracteriza-se pela presença de defeitos globulares que se identificam como uma depressão na superfície, normalmente redonda ou elíptica, de bordos nítidos com fundo visível e de cor não negra. A área de transição entre as superfícies da secção do arame (topo da imagem) concentra as imagens de porosidade. As diferenças entre imagens neste aumento não são muito evidentes. Exceção feita à última imagem para pH6,75 que apresenta cavidades com maior profundidade e sinais de porosidade mais acentuados do que a imagem respeitante ao pH 4. Na imagem D a diferença nos sinais de porosidade também é muito mais acentuada em pH 6,75.

No gráfico 48 observa-se o resultado da análise por EDS do TMA como recebido. Os elementos constituintes e as suas proporções estão de acordo com os dados recebidos do fabricante (ver anexo/orçmco tabela).

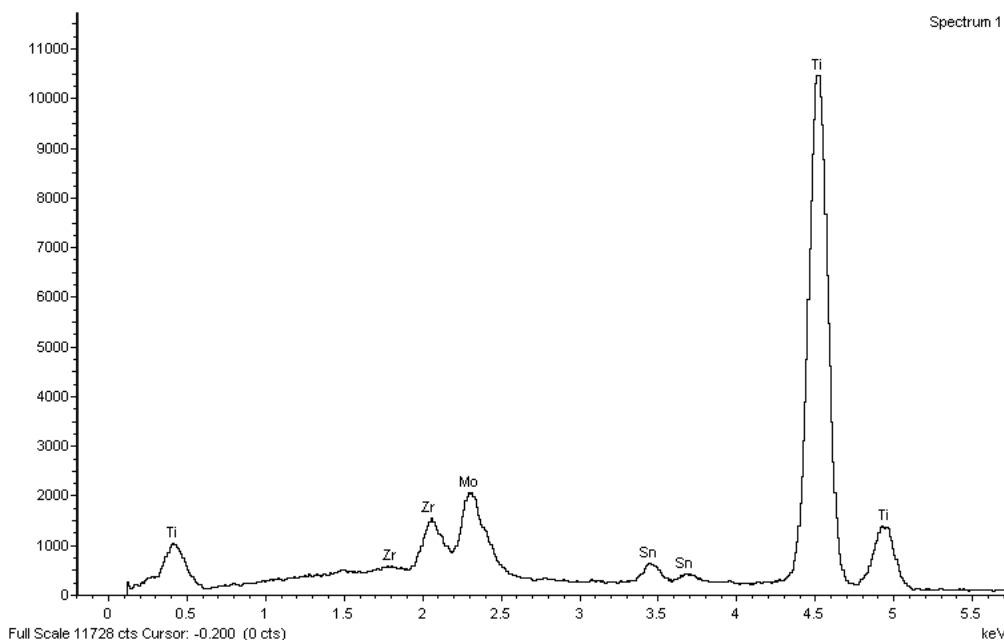


Gráfico 48. TMA

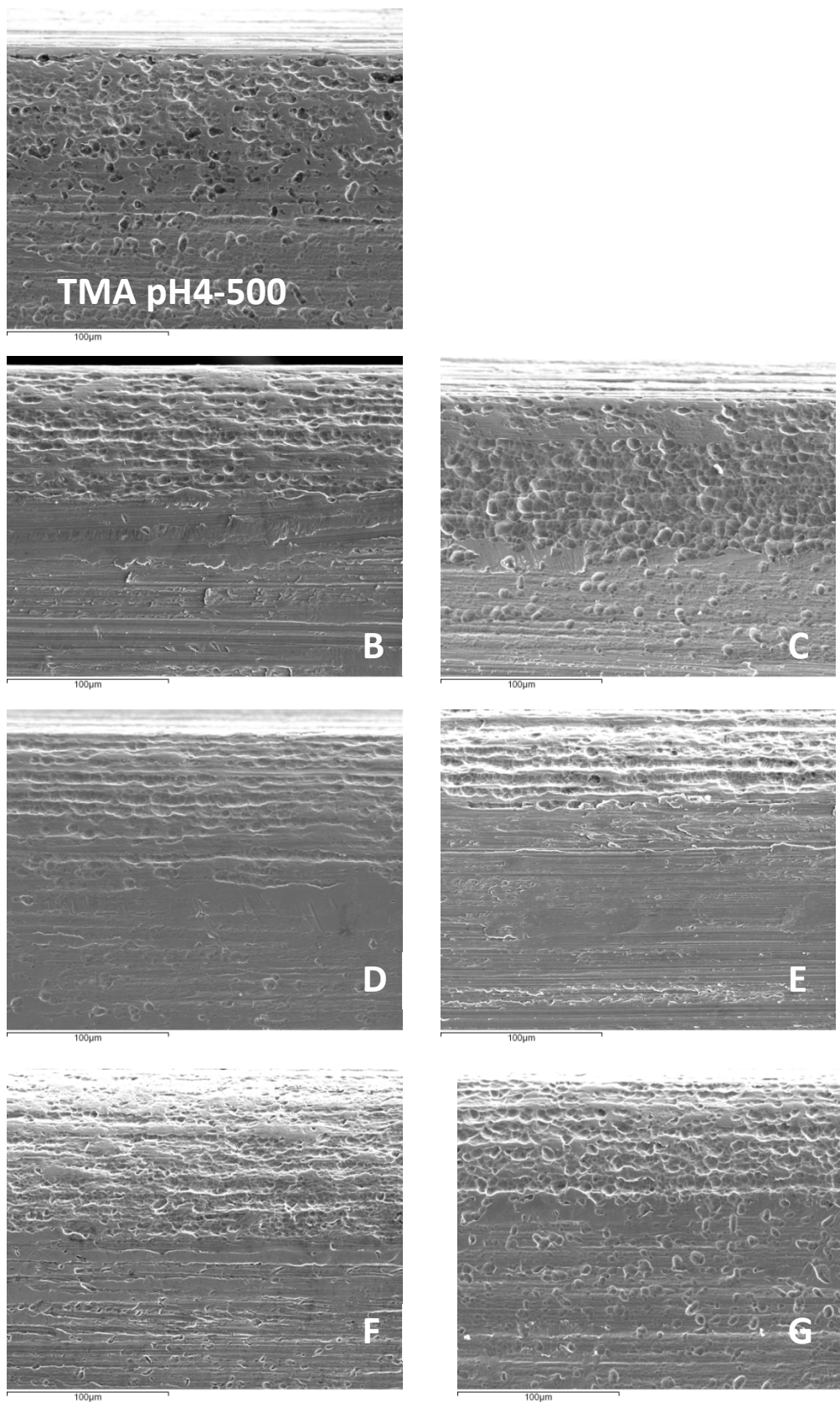


Figura 50. Superfície das molas de TMA a pH 4, ampliação x 500

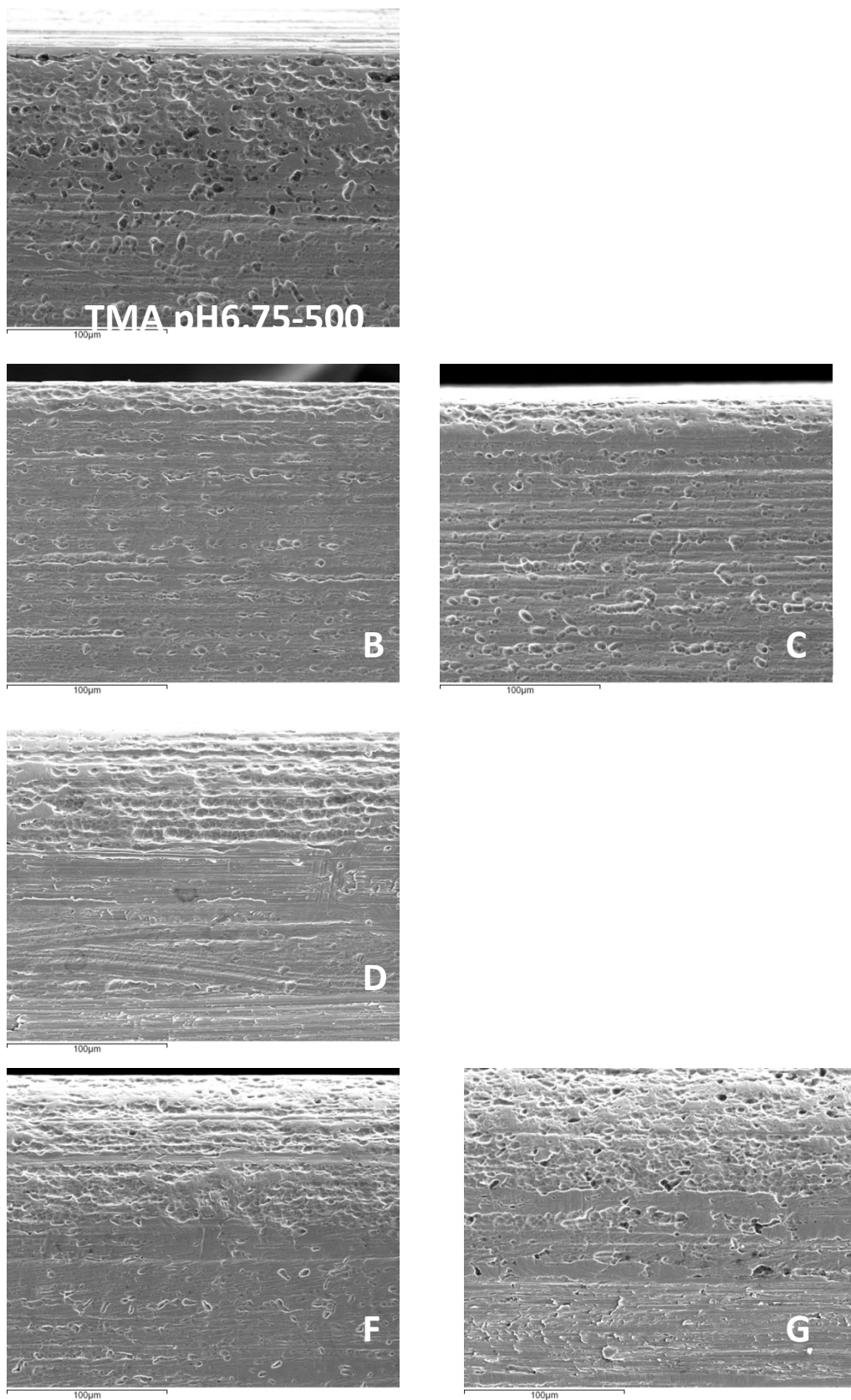


Figura 51. Superfície das molas de TMA a pH 6.75, ampliação x 500

3.3.2.5.2. Avaliação da superfície das molas em TMA pH 4 e pH 6 em MEV, ampliação x 2000 – Local A – Figura 51 e 52, respetivamente.

As imagens após imersão em saliva apresentam menores sinais de porosidade do que a condição inicial. As duas ultimas imagens em pH 6,75 apresentam a superfície com mais sinais de irregularidades e mais profundos, comparativamente às imagens de pH 4.

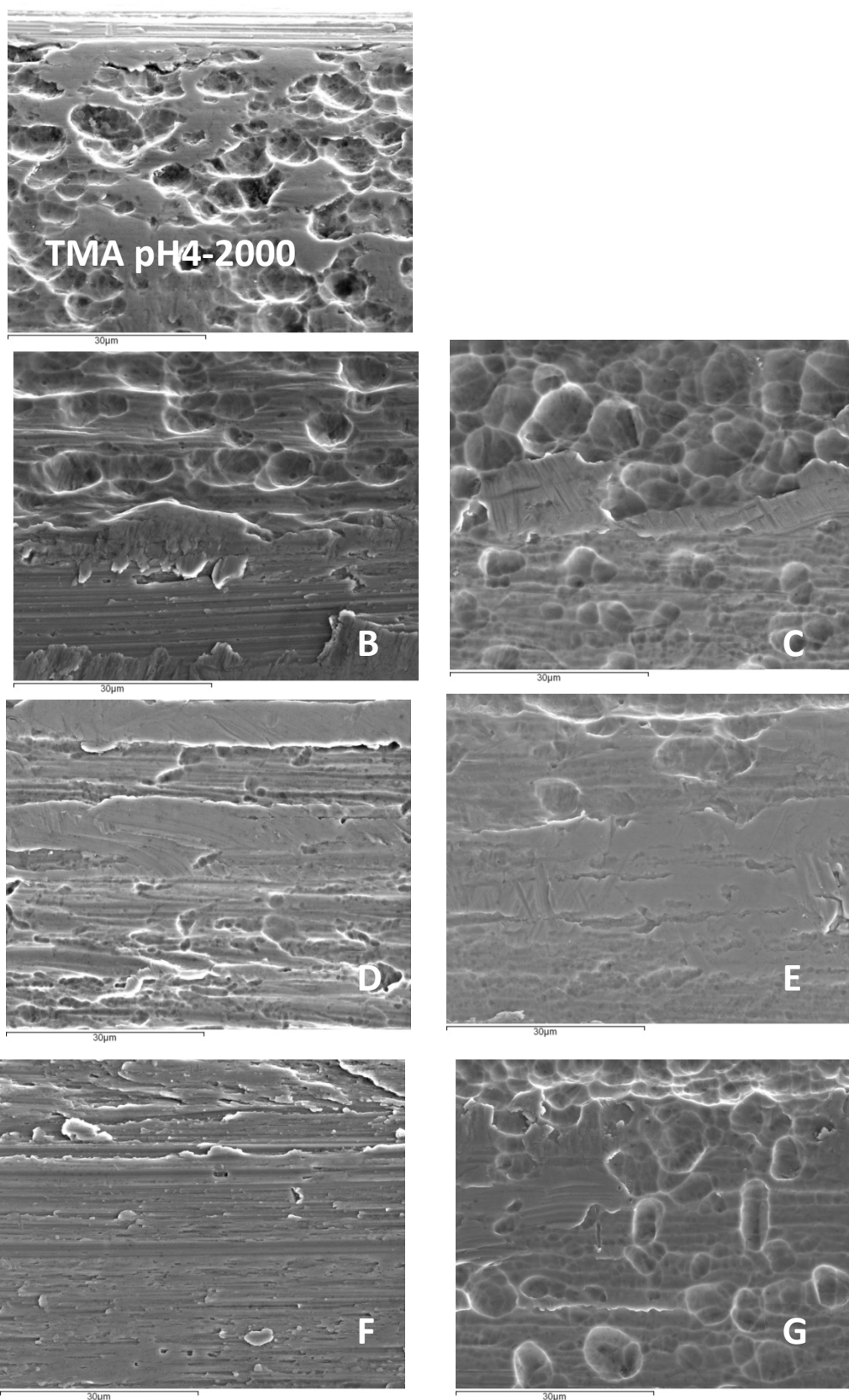


Figura 52. Superfície das molas de TMA a pH 4, ampliação x 2000

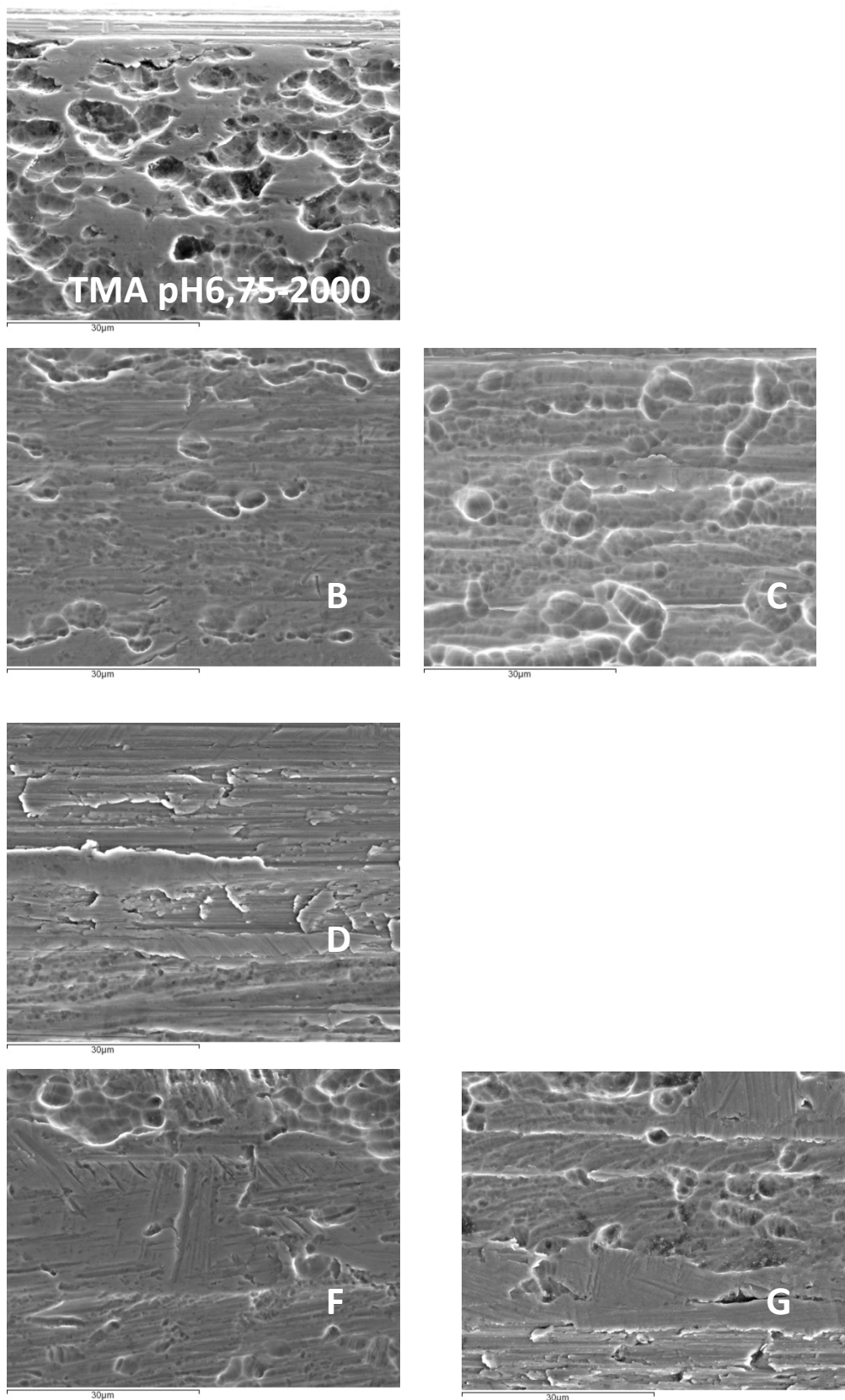


Figura 53. Superfície das molas de TMA pH 6.75, ampliação x 2000

3.3.2.5.3. Avaliação da superfície das molas em TMA em MEV, ampliação x 5000 – Local A, B e C .

3.3.2.5.3.1. Avaliação da superfície das molas em TMA a pH 4 em MEV, ampliação x 5000 – Local A, B e C – Figura 53,54 e 55, respectivamente.

As duas últimas imagens apresentam os sinais de menor homogeneidade no padrão em todos os locais. No caso da figura respeitante á localização B, verifica-se a existência de linhas oblíquas em relação às linhas principais resultantes do processo de fabrico. A frequência das linhas aumenta com o tempo e concentração em ião flúor, como se constata nas imagens E e G.

No gráfico 49 observa-se o resultado da análise por EDS do TMA a pH4. Os elementos constituintes e as suas proporções apresentam-se na tabela 36

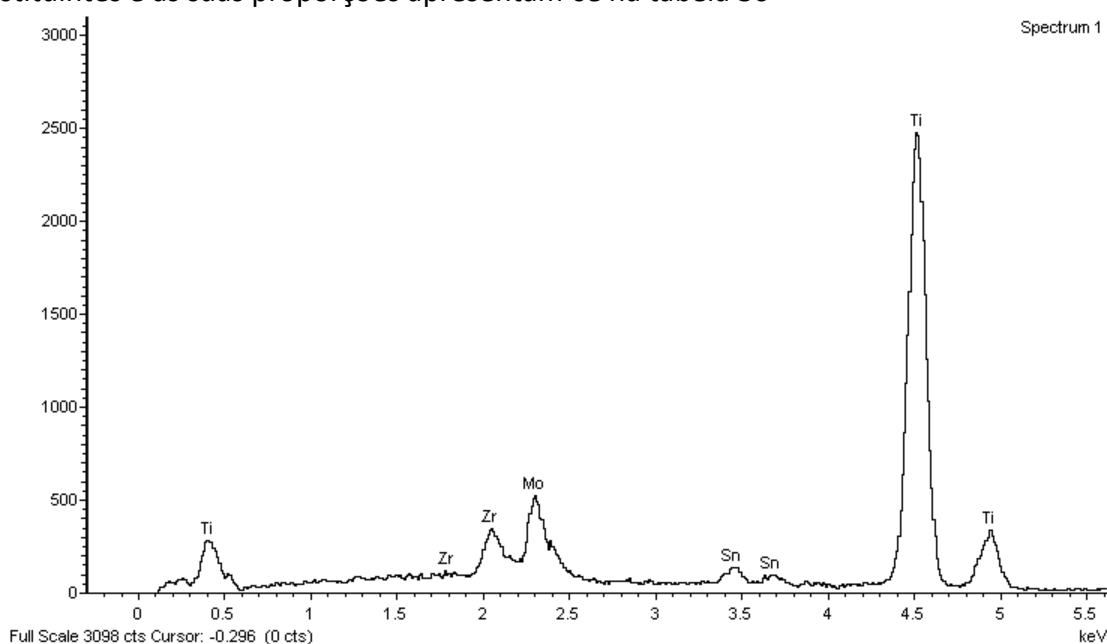


Gráfico 49. EDS TMA pH 4

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic %
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Ti K	48.25	0.9816	75.83	0.68	86.54
Zr L	3.76	0.8706	6.67	0.46	4.00
Mo L	7.28	0.8767	12.81	0.56	7.30
Sn L	2.70	0.8874	4.69	0.34	2.16
Totals			100.00		

Tabela 36. EDS TMA pH 4 - elementos

No gráfico 50 observa-se o resultado da análise por EDS do TMA a pH 6,75. Os elementos constituintes e as suas proporções apresentam-se na tabela 37

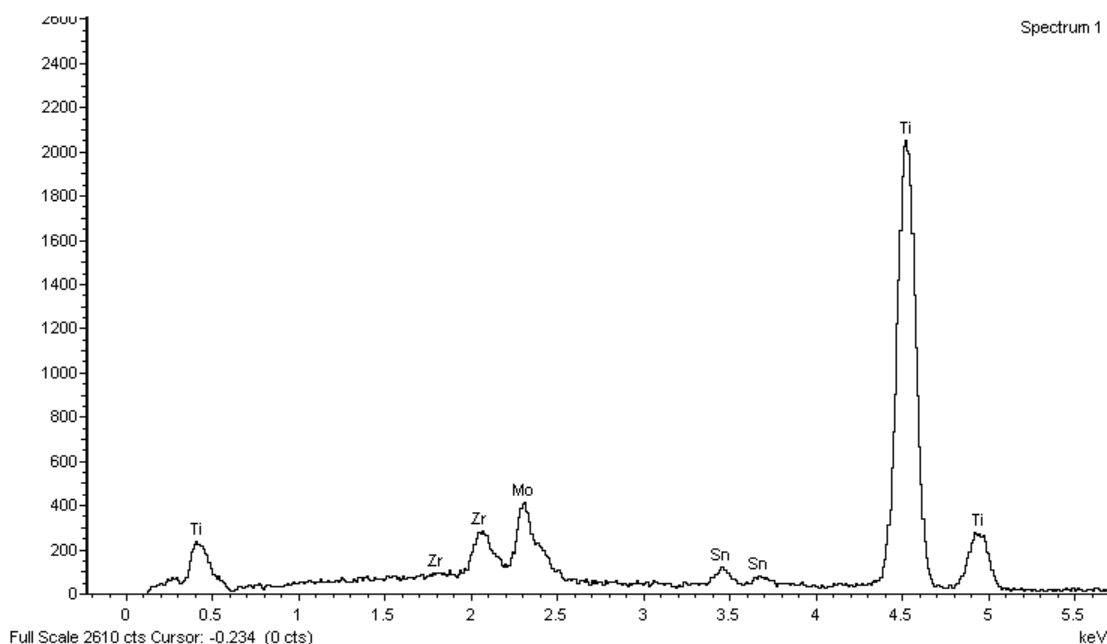


Gráfico 50. EDS TMA pH 6,75

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic %
	Conc.	Corrn.		Sigma	
Ti K	48.46	0.9820	76.61	0.74	87.05
Zr L	3.69	0.8695	6.59	0.51	3.93
Mo L	6.80	0.8762	12.05	0.59	6.84
Sn L	2.72	0.8903	4.74	0.37	2.18
Totals			100.00		

Tabela 37. EDS TMA pH 6,75- elementos

Os valores obtidos da análise EDS para os diferentes pHs são sobreponíveis, verificam-se ligeiras diferenças percentuais nos valores apresentados nas tabelas. As molas observadas no estado de inicial e após imersão apresentam os mesmos constituintes encontrados.

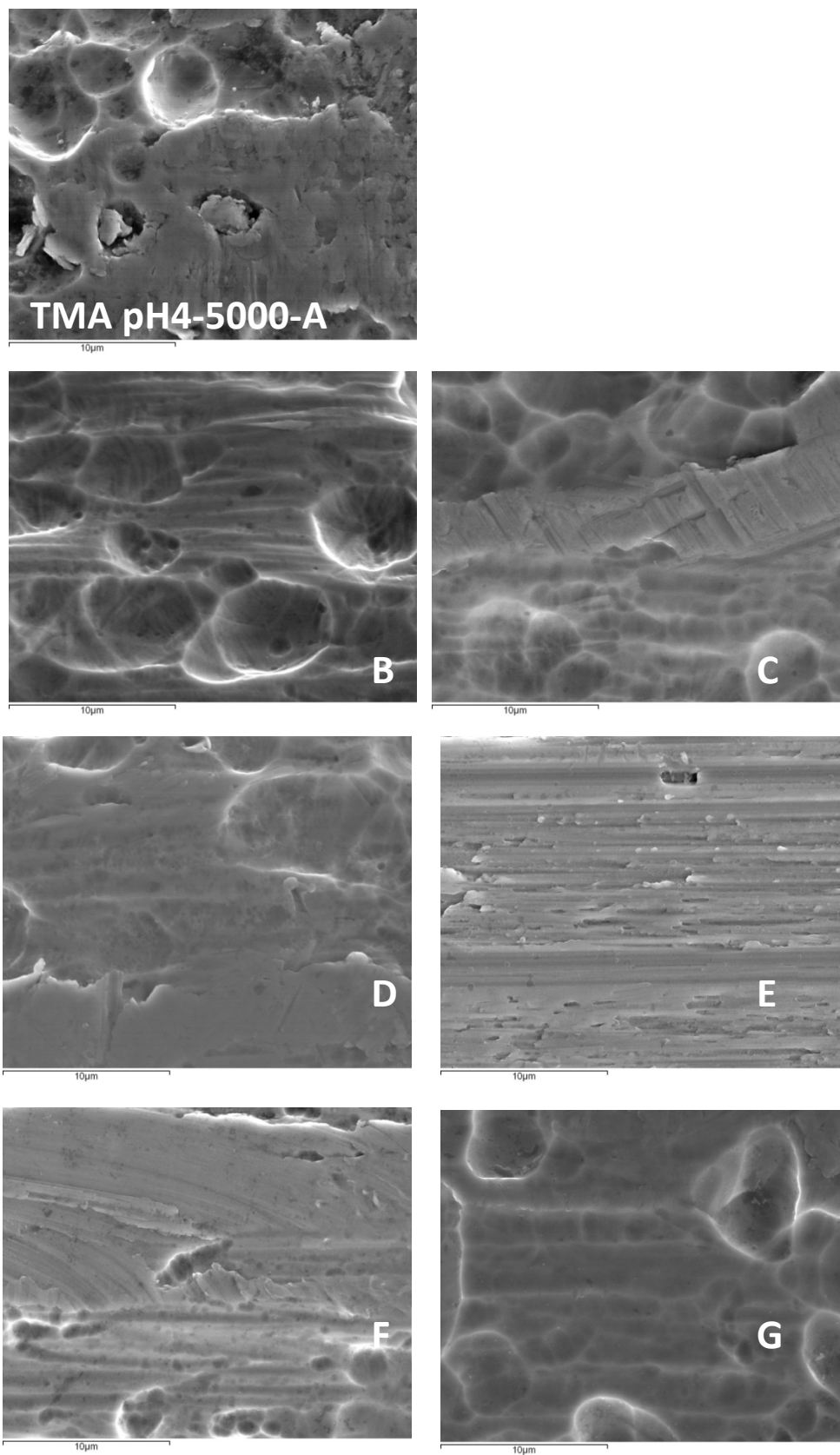


Figura 54. Superfície das molas de TMA a pH 4A, ampliação x 5000

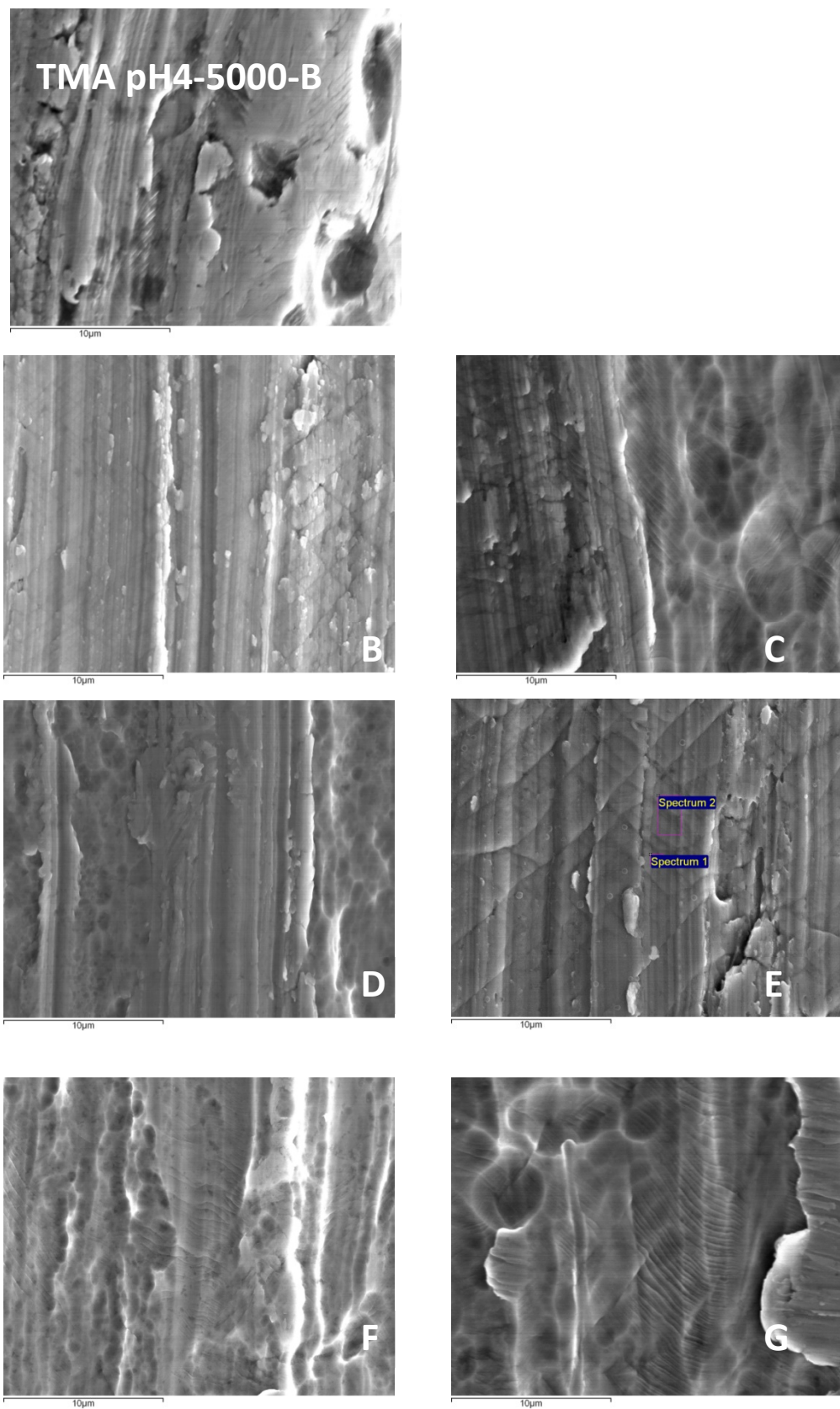


Figura 55. Superfície das molas de TMA a pH 4B, ampliação x 5000

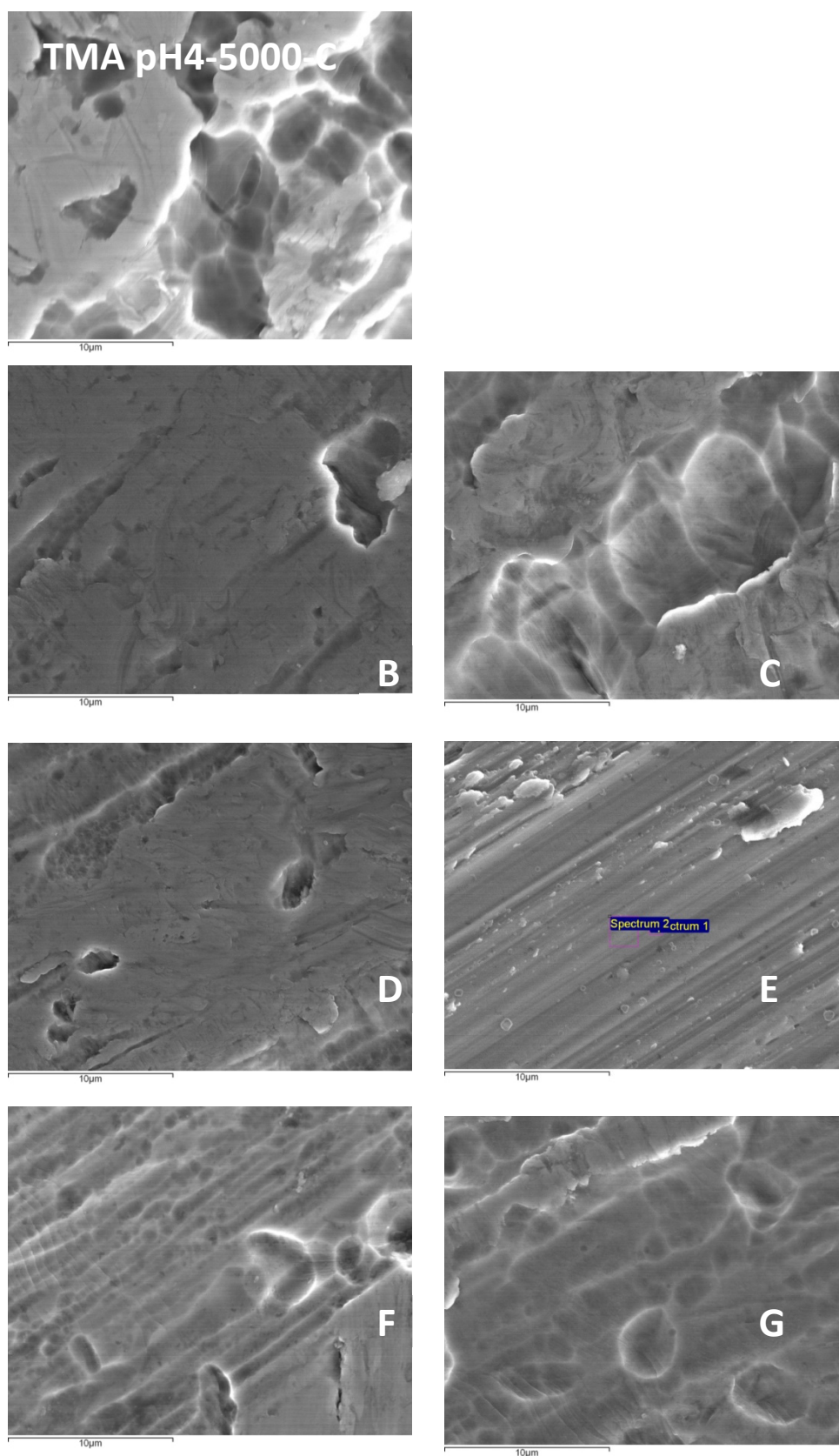


Figura 56. Superfície das molas de TMA a pH 4C, ampliação x 5000

3.3.2.5.3.2. Avaliação da superfície das TMA a pH 6,75 em MEV, ampliação x 5000 – Local A, B e C – Figura 56, 57 e 58 respectivamente.

Nas duas últimas imagens, para os três locais, há irregularidade no padrão e sinais de maior profundidade dos defeitos. O aumento dos defeitos é mais evidente na localização B. Associada à profundidade das irregularidades da última imagem, observam-se pequenas partículas.

As imagens relativas à condição pH 6,75 apresentam, no geral, mais sinais de desgaste/corrosão do que as de pH 4. Comparando as imagens F e G (condições teoricamente mais agressivas) de cada figura, nas imagens respeitantes a pH 6,75 as imperfeições apresentam maior grau de profundidade.

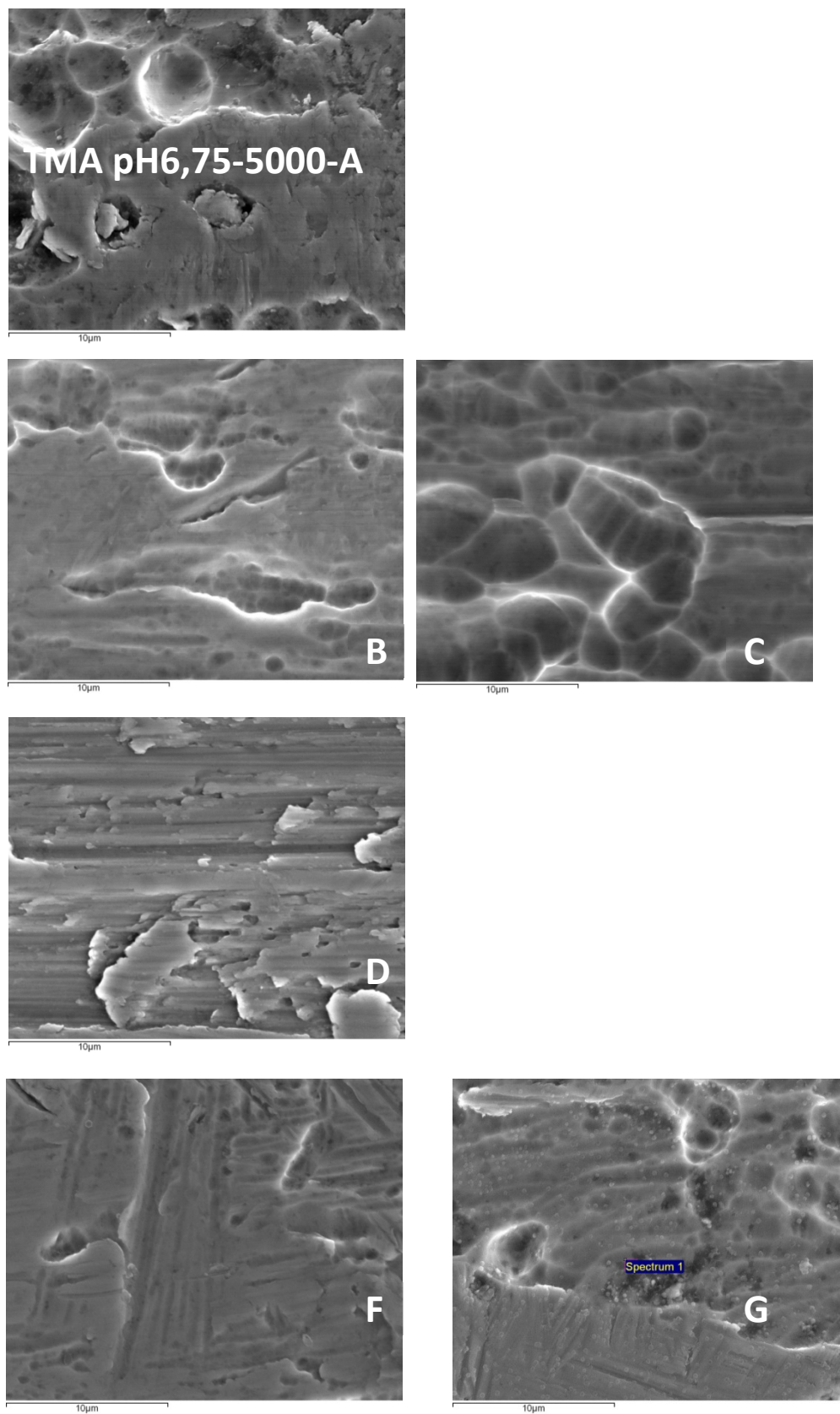


Figura 57. Superfície das molas de TMA a pH 6.75A, ampliação x 5000

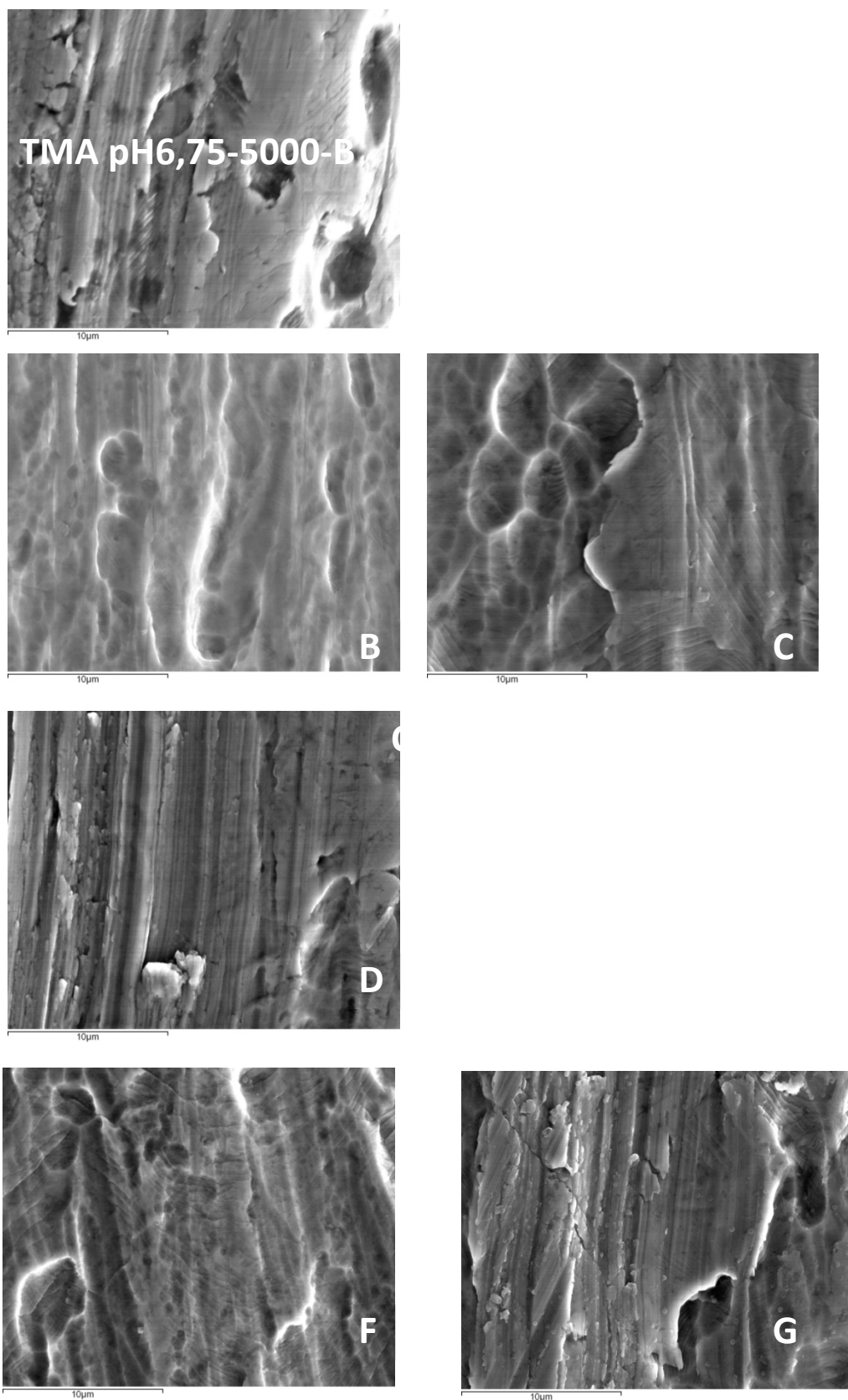


Figura 58. Superfície das molas de TMA a pH 6.75B, ampliação x 5000

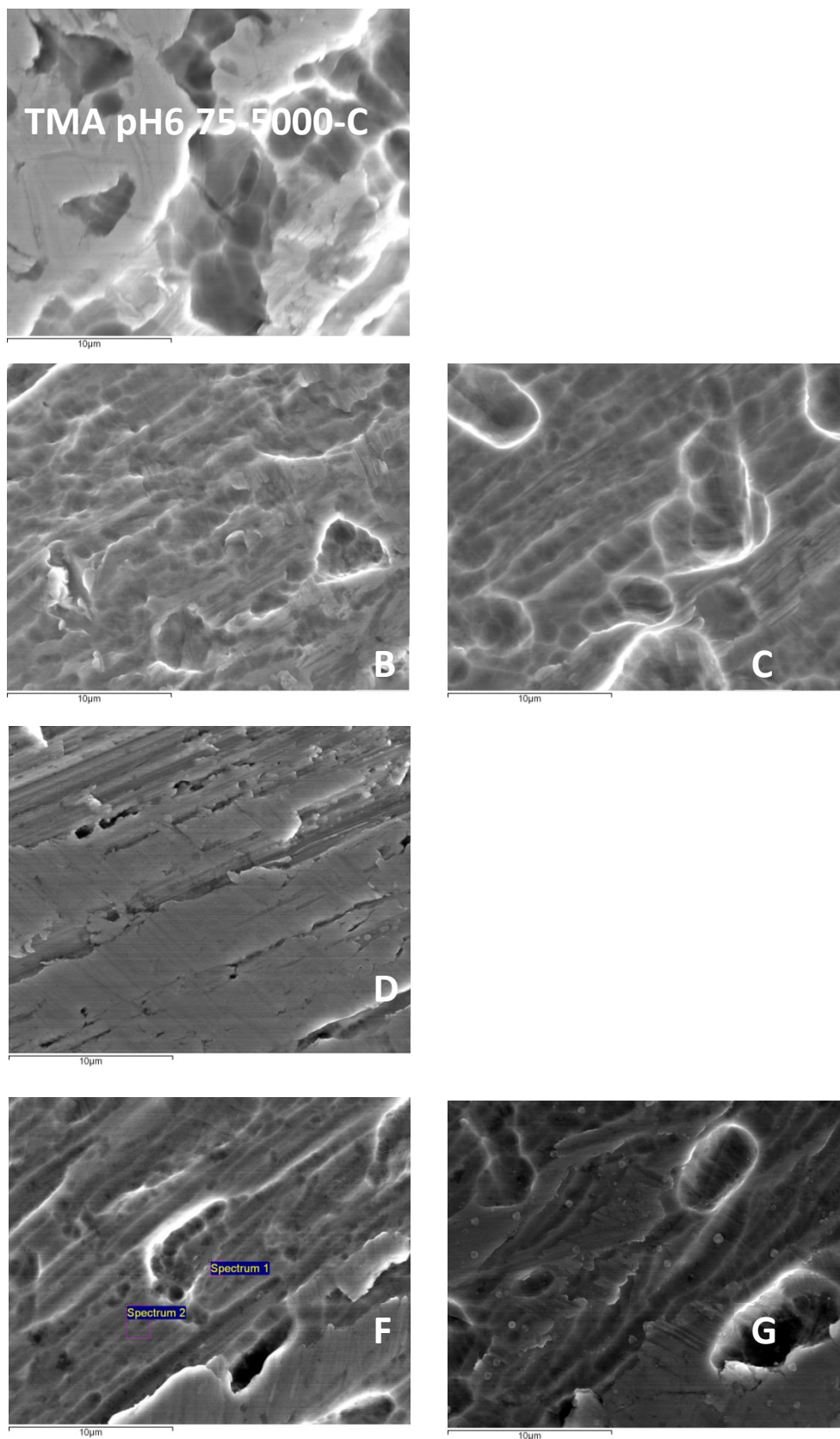
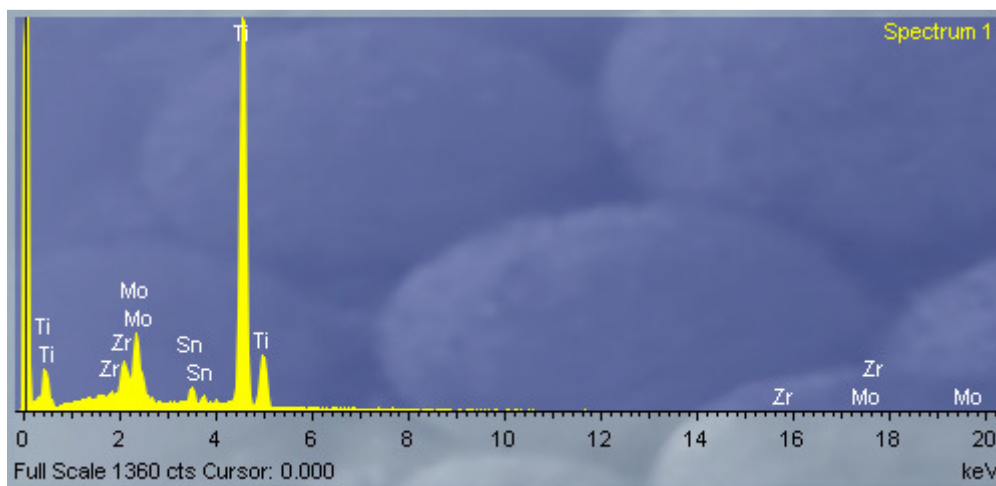
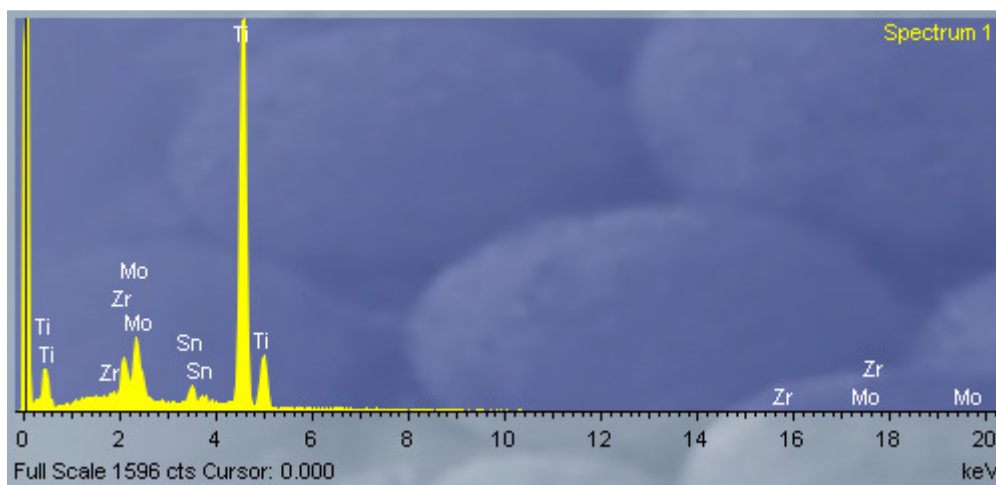
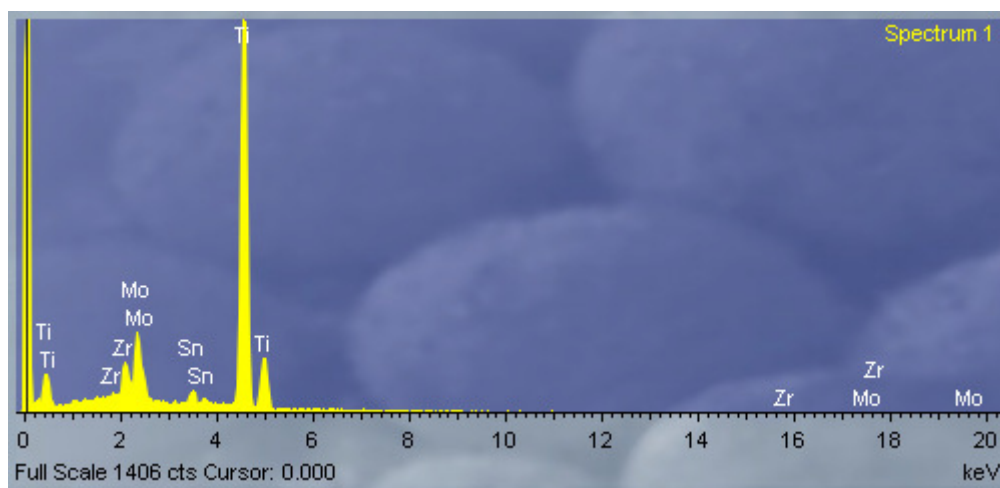
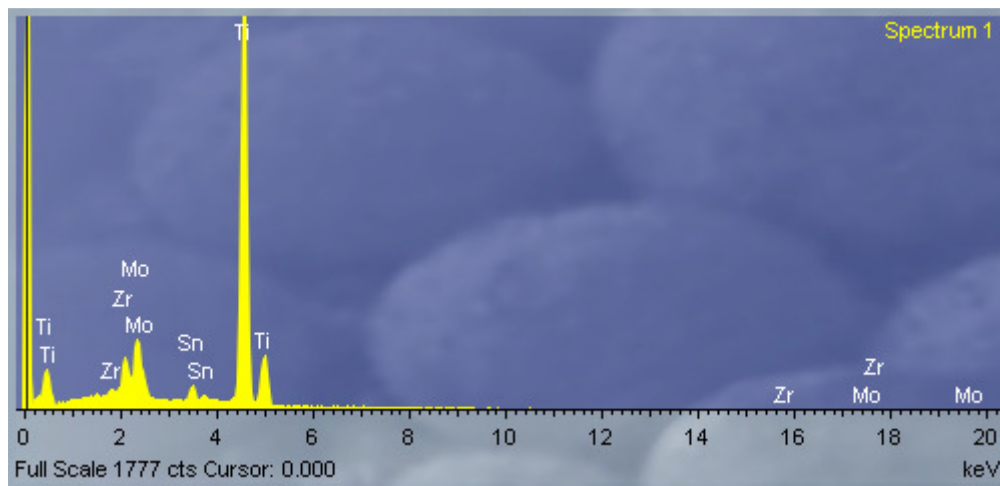


Figura 59. Superfície das molas de TMA a pH 6.75C, ampliação x 5000

3.3.2.6. Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS) - TMA/pH/flúor

Os resultados da análise por EDS para a liga TMA em função do pH e concentração ião flúor são apresentados nos quatro gráficos abaixo indicados. Verifica-se que todas as condições apresentam os mesmos constituintes encontrados.





Uma análise por EDS foi efetuada a partículas (Fig. 60) presentes na amostra a pH 6,75 e alta concentração de fluor, não observáveis em outras condições para o TMA. O gráfico resultante (gráfico 55) evidencia a presença do elemento fluor, não presente nos quatro gráficos anteriores.

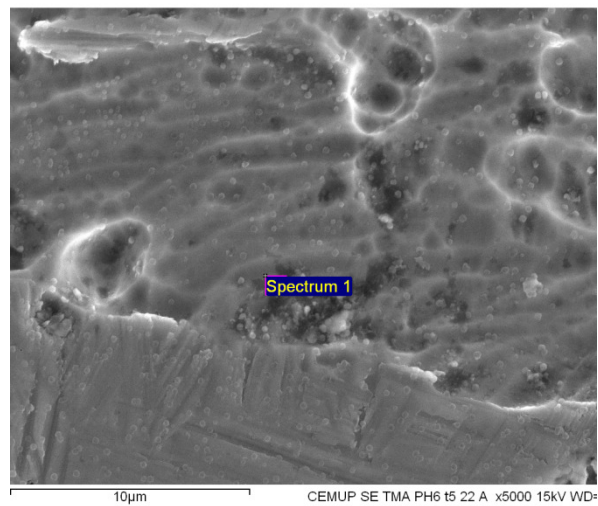


Figura 60. EDS a partículas

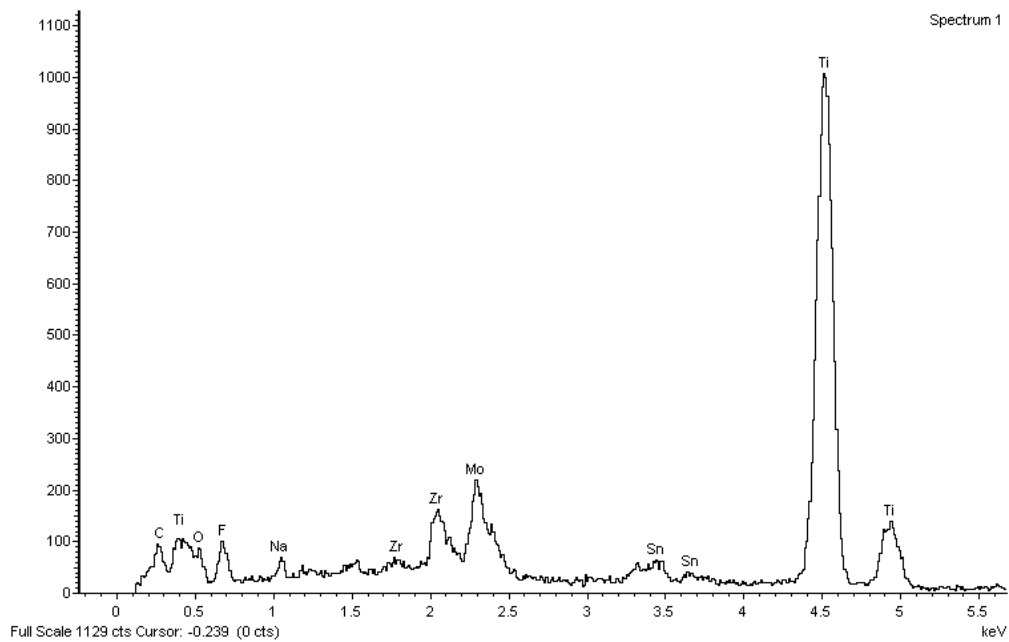


Gráfico 55. EDS- TMA (partículas)/ pH 6,75/ 22600 ppm

3.4. Análise dos produtos de corrosão por espectrofotometria de absorção atômica

Os resultados da pesquisa do ião Níquel apresentam-se esquematizados na tabela 38, com a denominação utilizada para cada amostra em função da liga/pH/tempo/ppm.

Amostra	Material	pH	Tempo imersão	Pesquisa/ião	Resultados(mg/L)
AA-Nicontrolo	Saliva	4	5 meses	Ni	<0,083
AA-ApH4t3	Aço	4	3 meses	Ni	<0,083
AA-ApH6t3	Aço	6,75	3 meses	Ni	<0,083
AA-ApH4t5	Aço	4	5 meses	Ni	0,215
AA-ApH6t5	Aço	6,75	5 meses	Ni	<0,083
AA-ApH4-1500	Aço/1500ppm	4	30 min.	Ni	<0,083
AA-ApH422600	Aço/22600ppm	4	5 min.	Ni	<0,083

Tabela 38. Resultados da pesquisa do ião níquel

A condição com o maior tempo de imersão e para o pH 4 foi a única que apresentou um resultado para o ião Ni acima do limite da sensibilidade da técnica.

Os resultados da pesquisa do ião Mo apresentam-se esquematizados na tabela 39, com a denominação utilizada para cada amostra em função da liga/pH/tempo/ppm.

Tabela 39. Resultados da pesquisa do ião molibdênio

Amostra	Material	pH	Tempo imersão	Pesquisa/ião	Resultados(mg/L)
AA-Mocontrolo	Saliva	6,75	5 meses	Mo	<0,118
AA-TMApH4t1	TMA	4	1 mês	Mo	<0,118
AA-TMApH6t1	TMA	6,75	1 mês	Mo	0,424
AA-TMApH4t3	TMA	4	3 meses	Mo	0,165
AA-TMApH6t3	TMA	6,75	3 meses	Mo	0,995
AA-TMApH4t5	TMA	4	5 meses	Mo	<0,118
AA-TMApH6t5	TMA	6,75	5 meses	Mo	0,131
AA-TMApH41500	TMA/1500ppm	4	30 min.	Mo	0,355
AA-TMApH422600	TMA/22600ppm	4	5 min.	MO	<0,118

A condição que apresentou o valor mais alto foram os 3 meses de imersão a pH 6,75. Relativamente ao pH, para os mesmos tempos, a condição pH 6,75 apresentou sempre valores mais elevados. A condição pH4 apresentou valores acima do limite da sensibilidade da técnica, para um tempo de imersão de 3 meses.

Discussão

4. Discussão

4.1. Força e momento – Mola em T

4.1.1. Força e momento – Mola em T – fase 1

4.1.1.1. Amostra

Burstone e Koenig^[6] referem que, na geometria da mola, a diminuição da dimensão horizontal em oclusal e o aumento da dimensão horizontal em gengival, são fatores significativos no aumento da proporção M/F. Atendendo a isso a mola com geometria em T tem sido objeto de estudo de inúmeros trabalhos.^[41, 51, 95-100, 166-168]

Segundo os trabalhos de Burstone e Koenig^[6] e Siatkowski^[91], um dos fatores mais importantes na proporção M/F para determinada mola é a sua dimensão vertical. O seu aumento resulta num aumento da proporção M/F. Segundo Siatkowski^[92], um aumento da dimensão vertical acima dos 10 mm, contrariamente à predição teórica, não é sinónimo de aumento da proporção M/F. Por este motivo e porque as molas com dimensão vertical acima dos 7 mm são muitas vezes causa de desconforto para o paciente, optou-se por estudar molas com 7 mm na dimensão vertical.

A mola em T usada neste trabalho com dimensão vertical de 7 mm, onde a haste vertical do T tem 5mm e a porção apical 2 mm de altura por 10 mm de comprimento horizontal, apresenta as dimensões referenciadas na maioria dos trabalhos^[51, 69, 95, 96, 98, 105, 166], sendo um tamanho com utilização clínica frequente. A nossa escolha para o estudo da mola T, com tais dimensões, deve-se às razões anteriormente apontadas e ao facto de facilitar a comparação do presente estudo com outros trabalhos.

4.1.1.2. Método

O presente estudo teve como propósito analisar e comparar o comportamento mecânico (força horizontal (g), proporção M/F em α (mm)), de uma mola em T, com a mesma secção, dimensão vertical (7 mm), distância inter-*bracket* (13 mm), posicionamento e sistema de suporte. As variáveis em estudo foram o tipo de arame utilizado e a pré-ativação. As molas com esta dimensão são frequentemente escolhidas para fechamento de espaços de extração, tanto em arcos segmentados, como em arcos contínuos. Um dos locais onde habitualmente se usam é no espaço da extração dos primeiros pré-molares. Apesar do presente estudo ser laboratorial, pretendemos escolher materiais e condições comuns na prática clínica.

Preconizou-se a distância inter-*bracket* de 13 mm que, segundo Siatkowski^[92], equivale à distância média que separa os dois brackets contíguos ao espaço de extração de um pré-molar. Muitos estudos^[37, 39, 41, 51, 95, 96, 98, 100, 104, 105, 166, 167, 169, 170], fazem referência a distâncias inter-*bracket* superiores a 20mm, mas convém notar que estes valores se referem à distância entre o tubo auxiliar do primeiro molar e o bracket anterior ao espaço de extração. Foi inicialmente tentador realizar o estudo de vários calibres e tipos de arame, mas, por motivos de dimensão do trabalho optou-se pelo aço – considerado um “clássico” em muitas

técnicas e o TMA como um fio das novas “gerações” de arames. A secção 0.017” x 0.025”, para os materiais aço ou TMA, aparece referenciada por vários autores^[51, 96, 98, 100, 166, 167, 171] como uma boa escolha na fase de fechamento de espaço.

A localização da mola na distância *inter-bracket* foi de 2 mm ao bracket α . Como se pretende, para além da força, quantificar os momentos, com a descentralização da mola, o bracket mais próximo é aquele onde se verifica o momento maior.^[92, 98] O posicionamento da mola no presente estudo, a 2 mm do bracket anterior (α), igualmente proposta por Viecilli^[100], é intermédio aos 1,5 mm propostos por Siatkowski^[92] e aos 3 mm propostos por Ferreira et al.^[170].

A realização de dobras de pré-ativação nas molas, constitui um método eficaz de promover melhorias no sistema de forças, aumentando os níveis de proporção M/F. Vários trabalhos^[5, 51, 91, 92, 101-103] sublinharam que, a posição neutra de uma mola é alterada com a incorporação de dobras de pré-ativação. As molas pré-ativadas, após serem inseridas nos brackets, podem apresentar certas deformações inerentes à realização de dobras de pré-ativação e, assim, propiciarem o surgimento de forças residuais prévias à sua ativação, dificultando a obtenção de um estado de ativação neutro relativamente à força horizontal. Também a diferente distribuição das mesmas, na configuração da mola, tem influência no sistema de forças.

Por isso, propusemo-nos estudar determinadas combinações possíveis para a amostra em causa. As várias combinações utilizadas, algumas delas empregues em outros estudos^[104, 105], a nível de pré-ativação foram:

- a não inserção de dobras de pré-ativação (0°);
- a inserção de dobras num total de 20°, e de 40° apenas distribuídos oclusalmente;
- uma distribuição gengival num total de 20° (pré-ativação 20°);
- uma pré-ativação total de 40° com metade da distribuição oclusal e outra metade gengival (pré-ativação 40°).

Estas combinações têm como intuito verificar o efeito das pré-ativações e da sua distribuição no sistema de forças das molas.

A comparação das 3 primeiras combinações de pré-ativações, acima enunciadas permitiram estudar o efeito – aumento da pré-ativação no sistema de forças. A comparação das pré-ativações 20° com 20° e 40° com 40°, possibilitaram estudar o efeito – variação da localização das pré-ativações.

Na ativação decidiu-se proceder a ativações de 1 a 6 mm. Limitou-se a ativação máxima a 6 mm, dado que a maioria dos estudos^[95, 96, 100, 167] utilizou os 7 mm como limite de ativação, à exceção de Braun et al.^[75, 101], que foram até aos 8 mm. No entanto, todos eles se referem a molas exclusivamente confeccionadas em TMA e para distâncias *inter-bracket* acima dos 20 mm. Em estudos com molas em aço, de secção 0.017” x 0.025”, o valor de ativação máxima foi referenciado por Thiesen et al.^[41], com 5 mm. No trabalho de referência^[92], na escolha da distância *inter-bracket* (13 mm), a ativação máxima referida para o TMA foi 7 mm, mas para

um aço de secção inferior o valor foi 3,8 mm. Assim, conscientes das diferentes propriedades dos materiais em estudo, sobretudo em relação ao limite de elasticidade do aço, e pretendendo criar uma condição limite idêntica para ambos os materiais, optamos por uma ativação máxima intermédia aos valores referenciados.

A ativação máxima para algumas molas foi limitada a valores inferiores a 6 mm, sempre que a força horizontal e/ou o momento registaram valores superiores a 300g e 3000 gmm respectivamente. Os valores da força acima dos 300g, ultrapassam os valores considerados como de força ótima necessária para uma movimentação dentária dentro de limites fisiológicos pelo que foram excluídos.^[6, 35-41] Relativamente ao valor do momento, o aparelho OrthoMeasure Moment/Force consegue quantificar momentos até 3000 gmm, pelo que ficamos limitados a este condicionalismo do equipamento.

4.1.1.3. Força

Analisando os gráficos das médias da variável força para as diferentes combinações de Material e pré-ativação fixa, confirmou-se para o mesmo nível de ativação, que o Material aço produziu valores superiores ao Material TMA, de acordo com as propriedades dos materiais.^[78, 87]

Na pré-ativação 20º, os 20º das dobras de pré-ativação tem uma distribuição total em gengival. Este facto, implica um aumento da dimensão horizontal da mola e consequentemente, uma diminuição da força horizontal, em posição neutra. A distribuição das dobras de pré-ativação em oclusal resulta num efeito oposto. Os resultados obtidos no trabalho estão de acordo com as conclusões de outros autores.^[5, 51, 91, 92, 101-103]

Na situação da pré-ativação 40º, como os 40º das dobras de pré-ativação foram distribuídos por oclusal e gengival, os valores registados para a força horizontal foram superiores aos verificados na pré-ativação 0º mas inferiores à pré-ativação 20º. A diminuição, aparentemente paradoxal, na intensidade da força é facilmente explicada pelo efeito oposto de aumento do comprimento da mola, exercido pela distribuição gengival da dobra de pré-ativação. O aumento de pré-ativação nem sempre é sinónimo de aumento na intensidade da força.

4.1.1.3.1. Pré-ativação e quantificação da ativação

Na ausência de dobras de pré-ativação, a mensuração da ativação da mola é facilmente quantificada pelo afastamento verificado entre hastes verticais da mola. A associação de dobras de pré-ativação foi aplicada com o intuito de aumentar a proporção M/F, para uma dimensão vertical compatível com a realidade clínica. No entanto, a associação de dobras não permite uma quantificação da ativação pela mensuração direta da separação das hastes verticais. A variação na distribuição das dobras de pré-ativação tem efeitos diferentes na geometria da mola em posição neutra.^[5, 51, 91, 92, 101-103]

Os resultados do presente estudo, para além de confirmarem os dados de trabalhos anteriores^[5, 51, 91, 92, 101-103] (concordância dos dados relativamente ao efeito das várias pré-ativações), quantificaram ainda o valor da força e momento para as várias pré-ativações, em função da ativação.

4.1.1.3.2. Estudos comparativos

A tabela 16 compara os resultados da força horizontal/ativação da mola T em TMA sem pré-ativação do presente estudo, com os valores apresentados por Burstone^[95] e Manhartsberger et al.^[96].

Ativação	Molas T - força (g)		
	Estudo Pré-ativação 0º	Burstone ⁸⁶	Manhartsberger ⁸⁷ (dobras secas)
1	49,7	50,1	48,7
1,5	71,6	72,1	73,6
2	99,7	94,7	96,9
2,5	124,9	116,7	121,6
3	149,9	140,7	147,2
3,5	177,5	162,7	174,5
4	200,3	185,0	195,1
4,5	228,4	208,8	220,4
5	252,3	232,9	246,4
5,5	277,2	257,5	274
6	303,3	281,8	302,8

Tabela 40. Estudos Comparativos

Os resultados de Burstone^[95] e Manhartsberger et al.^[96] foram alusivos a molas T em TMA com as mesmas dimensões utilizadas no presente trabalho. Apesar de nas molas desses trabalhos existirem pré-ativações inseridas, estas não desenvolveram força horizontal quando colocada em posição neutra (pela metodologia adotada), razão pela qual, a comparação com a mola T em TMA sem pré-ativação (pré-ativação 0º) é exequível, para a variável força. Relativamente à proporção M/F e, uma vez que nos estudos em causa existem pré-ativações os valores serão diferentes. Os resultados do presente trabalho foram muito próximos dos de Manhartsberger et al.^[96], com valores ligeiramente superiores, apresentando com uma diferença máxima de 4%. Já relativamente aos valores de

Burstone^[95], as diferenças continuaram a ser superiores, mas, com uma diferença na ordem dos 10%.

4.1.1.4. Proporção M/F

Verificou-se, em todas as combinações, que a inserção de dobras de pré-ativação resultou num aumento da proporção M/F acima da dimensão vertical.

A distribuição total da pré-ativação em gengival resulta num aumento do momento e numa diminuição da força horizontal. Já a distribuição da pré-ativação em oclusal aumenta o momento e a força horizontal^[5, 51, 91, 92, 101, 169, 170]. A pré-ativação 40º, embora tenha 20º de pré-ativação gengival, a adição de 20º com distribuição oclusal, resultou numa menor proporção M/F, comparativamente à pré-ativação 20º. Esta diminuição foi resultante do aumento numa proporção superior da força horizontal, relativamente ao verificado para o momento.

4.1.2. Identificação das molas e condições de ativação – fase 2

A necessidade de identificação das molas foi imperativa, uma vez que o que se pretendeu avaliar foi a possibilidade da existência de diferenças entre a força e o momento desenvolvido pelas molas, antes e após o efeito dos vários meios de imersão. Consequentemente, os testes foram realizados para amostras emparelhadas, pois são as mesmas molas que foram testadas nos dois momentos, o que exigiu a sua identificação.

A não movimentação da mesa de testes e consequente sistema de medição durante todo o tempo experimental foi condição do estudo. A ativação inicial de 50 g para o TMA e de 95g para o aço deduzido na primeira fase do trabalho, é a condição imposta para a definição da ativação inicial de 1 mm. Cada mola é caracterizada por um afastamento registado no comparador digital, correspondente ao valor de 50 g ou 95g, consoante a liga. Esse afastamento, que denominamos de ativação inicial, é único para cada mola, e todas as futuras ativações para as diferentes condições do trabalho foram iniciadas a partir da ativação inicial.

4.1.3. Imersão em saliva – fase 3

A preparação da saliva artificial foi realizada no laboratório de Metabolismo e Regeneração Óssea da FMDUP, com composição idêntica à de outros estudos^[164, 165]. A utilização de saliva e a manutenção da mesma a 37°C, pretendeu simular as condições clínicas a que os materiais estão sujeitos em boca, condições utilizadas em vários trabalhos^[116, 123, 124, 139, 149, 172]

Relativamente ao valor de pH, a escolha do valor 6,75, baseou-se no trabalho de Aframian e col.^[173], que referiram ser $6,78 \pm 0,04$ o pH médio registado na cavidade oral. O valor foi obtido através da média de pH de oito locais diferentes da cavidade oral de 50 indivíduos saudáveis. O valor de pH 4 é um valor limite referenciado em vários trabalhos^[114-116, 123, 139], que o comparam com o pH 6 e o referem como simulação de dieta com alimentos e bebidas ácidas que pontualmente ocorrem. Segundo Toumelin-Chemla e col.^[154] o valor de pH para as diversas pastas dentífricas e colutórios varia entre 3,5 e 7,0; intervalo que reforçou a nossa escolha.

Usualmente, o tempo entre controlos num tratamento ortodôntico é de 1 mês, razão pela qual, relativamente à variável tempo, esse foi o menor valor considerado.

Aquando da utilização de molas para encerramento de espaço, normalmente o encerramento não é obtido no primeiro mês, o que implica nova ativação da mola. Por esse motivo, relativamente à variável tempo, foram considerados mais dois tempos, que resultaram da iteração de 2 meses a cada tempo precedente. Assim, foram utilizados os tempos de 1 mês, 3 meses e 5 meses; tempos ajustados à prática clínica, uma vez que em determinadas situações uma mola pode permanecer em boca durante 6 meses. O tempo de 1, 2 e 3 meses também foi utilizado por Izquierdo e col.^[174], como tempos de permanência em boca de molas, para posterior avaliação do torque.

4.1.4. Força e momento após imersão em saliva – fase 4

Na literatura há trabalhos^[115, 143, 144, 146, 149, 152, 162] que comparam propriedades mecânicas dos arames ortodônticos antes e após imersão em soluções fluoretadas. Walker e col.^[143, 144] fazem a comparação de arames após imersão em saliva e solução fluoretada, mas não registam valores para o tempo antes da imersão. Izquierdo e col.^[174] realizaram um estudo clínico comparando as propriedades mecânicas de molas após exposição *in-vivo* durante 1, 2 e 3 meses e antes da mesma. Inerente à exposição *in-vivo*, o controlo das variáveis pH, agentes fluoretados, não pôde ser efetivo.

A comparação do efeito *in vitro* da imersão em saliva, para diferentes pHs nas propriedades mecânicas de arames ortodônticos, mais propriamente em molas ortodônticas, relativamente ao tempo, não tem sido objeto de estudo e associa vários fatores mais próximos do uso clínico.

4.1.4.1. Molas em aço

4.1.4.1.1. Força

No presente trabalho, a imersão em saliva para a variável força nas molas em aço, resultou numa diminuição da mesma para todas as condições. Assim poderá admitir-se o aço sofre alterações na presença da saliva, com repercussões na força desenvolvida pelas molas formadas pela liga.

Relativamente ao pH, a diferença da força das molas sujeitas a pH 6,75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH 4. Provavelmente o pH 6,75 promove condições de reação química mais intensas que o pH 4.

Em relação ao tempo de imersão, a diferença da força aumenta com a duração do tempo. Para pH 6,75, os valores registados para 3 meses de imersão aproximam-se dos valores registados aos 5 meses de imersão, enquanto em pH 4, os valores estão mais próximos do tempo 1 mês. Este resultado parece reforçar mais a importância do pH 6,75 em detrimento do pH 4, na alteração das propriedades do aço.

A maior diferença média foi registada para a condição de pH 6,75 aos 5 meses e ativação 3,5 mm, com o valor de 11,15 g.

Ainda relativamente ao pH 6,75 (pH médio da cavidade oral em situações normais), a diferença média registada para o tempo 5 meses, para todas as ativações, variou entre os 8,45 g e o já referido valor de 11,15 g. Para o tempo 3 meses, a variação verificou-se entre os valores de 8,59 g e 10,6 g, variação dentro do intervalo registado para os 5 meses. Já para 1 mês de imersão, os valores médios da diferença registados, variaram entre 2,6 g e 4,86 g. Assim, em termos de força, para 1 mês de imersão, a diferença máxima é de 4,86 g, obtida na ativação máxima, com valores na ordem dos 300 g. Já para os 3 e 5 meses de imersão, a diferença será cerca do dobro da registada para o tempo de 1 mês. Os valores destas diferenças apenas terão significado clínico nos casos em que a força de ativação esteja muito próxima do valor limiar para movimento dentário.

4.1.4.1.2. Momento

Para o momento relativamente ao pH, verificou-se que a diferença nas molas sujeitas a pH 6,75 é superior à diferença nas molas sujeitas a pH 4, tal como se verificou para a força. Relativamente ao fator tempo, a diferença do momento aumenta com a duração do tempo. No entanto, a diferença registada não tem o mesmo sinal para todas as condições, como se constatou para a força.

Para o tempo 1 mês de imersão, a partir da ativação 2 mm, as diferenças registadas foram negativas, reflexo de um aumento do momento, para ambos os valores de pH. Para os 3 meses de imersão em pH 4, já se verifica uma diminuição do momento nas 2 primeiras ativações, com as restantes sem diferenças. Para o pH 6,75, o efeito é maior e todas as ativações resultam numa diminuição do momento. O aumento do tempo de imersão, no caso dos 5 meses, resultou numa diminuição do momento, em todas as ativações para

ambos os pHs, o momento diminuiu. Este efeito de diminuição do momento foi contrário ao verificado por Izquierdo e col., que registaram um aumento do momento com o tempo. Mas estes autores poderão estar influenciados por outras variáveis uma vez que o estudo foi realizado *in vivo*, na boca com molas em aço com geometria e fabricante diferente e de secção 0,018 " X 0,025".

4.1.4.1.3. Momento/Força

Relativamente à proporção M/F, a diferença máxima registada foi de 0,35 mm, com os valores iniciais da proporção M/F a variarem entre os 4,5 mm e os 5,6 mm. Em todas as situações houve um aumento ou manutenção do valor da proporção M/F, exceção feita à ativação inicial 1 mm e 1,5 mm para o pH 4 e 3 meses de imersão, em que se verificou uma descida da proporção M/F. Qualquer que seja a condição, o tipo de movimento não se alterou, uma vez que a proporção M/F se manteve relativamente constante.

4.1.4.2. Molas em TMA

4.1.4.2.1. Força

Para a liga TMA e para ambos os pHs, a diferença da força diminuiu com a ativação, contrariamente ao verificado para a liga aço. Relativamente ao pH, a diferença da força das molas sujeitas a pH 6,75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4, resultado também contrário ao verificado no aço. Estes resultados estão provavelmente relacionados com as características da liga elasticidade/resiliência. Já para o tempo, a diferença da força aumenta com a duração do tempo, efeito idêntico ao aço. Este achado confirma que há modificação das propriedades mecânicas do TMA ao longo do tempo, mas para valores sem significado no uso clínico.

Assim, para o TMA, a diferença máxima na força registou-se para o tempo de imersão de 5 meses, ativação inicial de 1 mm e pH 4, com um valor de 10,2 g; o intervalo de valores para a presente condição registou um valor mínimo de 5,06 g na ativação 5 mm.

Na condição clinicamente mais prevalente (pH 6,75), a diferença máxima registada foi de 6,97 g na ativação 1 mm para um tempo de 5 meses, com a ativação 5 mm a registar uma diferença de 2,99 g. As maiores diferenças registadas para o pH 6,75, equivalem a 60% do valor registado nas mesmas condições a pH 4.

Para o menor tempo de imersão (1 mês), cujos valores se encontram mais afastados dos outros tempos, considerando todas as condições, as diferenças para a força oscilaram entre 3,23 g e 0,76 g; sensivelmente metade das diferenças registadas em pH 6,75 e um terço das registadas em pH 4.

4.1.4.2.2. Momento

Relativamente ao momento, em todas as situações para o TMA, o momento diminui. A diferença do momento aumenta com a duração do tempo, sendo a maior diferença de 1 para 3 meses. As diferenças registadas para os 3 meses foram em média o triplo das registadas para 1 mês. Aqui poderá justificar-se de forma semelhante ao aço, associando as características de elasticidade/resiliência do TMA.

4.1.4.2.3. Momento/Força

Relativamente à proporção M/F, o valor, para as 54 diferenças calculadas, ou não há diferenças estatisticamente significativas ou há uma diminuição; só em 3 ativações é que se verifica um aumento. A diferença máxima registada foi $0,24 \pm 24$ mm, o que em termos clínicos resulta num mesmo tipo de movimento dentário.

4.1.5. Força e momento após imersão em saliva fluoretada – fase 5

4.1.5.1. Material e método

4.1.5.1.1. Concentração ião flúor

O estudo do efeito do ião flúor tem sido realizado para as mais variadas concentrações e produtos comerciais, o intervalo nos trabalhos referenciados^[108, 115, 124, 135, 139, 140, 143, 145-152, 156, 162], varia entre os 90 ppm e os 22600 ppm.

No presente trabalho utilizamos, para a variável concentração de ião fluoreto, 1500 ppm e 22600 ppm.

Os valores máximos do intervalo acima dos 10000 ppm dizem respeito a concentrações de géis e vernizes fluoretados de utilização profissional. A utilização do valor 22600 ppm pretendeu utilizar o valor extremo do intervalo, e também pelo facto de esta concentração coincidir com o valor do produto comercial Duraphat[®] (Colgate-Palmolive), verniz comercializado há muitos anos em Portugal.

O valor 1500 ppm é um valor referido em alguns trabalhos^[135, 145, 148-150]. Em termos de realidade clínica, a utilização de uma pasta dentífrica com os valores entre os 1000-1500 ppm, dependendo da marca comercial e associação de uma solução de flúor para bochecho com valores entre 226-500 ppm, situação plausível numa higienização normal durante a correção ortodôntica, estará em média associada a um valor de 1500 ppm. Estas razões justificaram a utilização do valor de 1500 ppm de ião fluor.

4.1.5.1.2. Imersão em solução fluoretada

Na literatura vários métodos são usados para obter os meios fluoretados utilizados na imersão em arames ortodônticos. No caso de soluções fluoretadas comerciais, a imersão dos arames foi realizada diretamente na solução^[143-145, 148, 152]. Quando o meio fluoretado não é uma solução mas um gel ou pasta, o método utilizado é a diluição de 5 g do agente fluoretado com 5 ml de saliva artificial, através de uma centrifugação a 2000 rotações por minuto, durante 10 minutos. A solução sobrenadante sem depósitos é utilizada como meio de imersão^[147, 148]. Por último, a fluoretação de determinado meio, maioritariamente saliva artificial, é realizada com adição de NaF.^[115, 146, 149]

O último método foi o utilizado no presente trabalho, uma vez que pretendemos estudar a variável pH, o que não seria possível optando-se por uma solução de determinada marca comercial.

Dependendo do método, para a mesma marca comercial, os valores de pH e concentração de flúor podem variar. Huang^[148] e Watanabe e col.^[145], para o mesmo produto comercial mas divergindo no método, encontram valores de pH 3,4 e 3,9, respetivamente. Já relativamente à concentração de flúor, o valor registado por Huang^[148], utilizando a diluição do gel em saliva, foi de 17010 ppm; enquanto Watanabe^[145], utilizando o produto como meio assinalou 12300 ppm.

4.1.5.1.3. Tempo de imersão

O tempo de imersão para a concentração de 1500 ppm foi de 30 minutos para cada 30 dias de imersão. Este método foi utilizado em vários estudos^[143, 144, 175] que o consideraram equivalente a 1 minuto diário de bochecho/aplicação de solução fluoretada.

O tempo de imersão para a concentração de 22600 ppm foi de 5 minutos, tempo também referenciado por Watanabe I e Watanabe E^[145]. Embora existam na literatura, referencias à utilização de altas concentrações de flúor com tempos de imersão prolongados, Kaneko e col.^[162] para uma concentração de 10000 ppm referem um tempo de 60 minutos. Watanabe I e Watanabe E^[145] além de 5 min. compararam também tempos de imersão de 60 min. e 24 horas para concentrações de 12300 ppm.

A concentração de flúor na placa bacteriana adjacente ao aparelho ortodôntico após aplicação de vernizes fluoretados (entre eles o Duraphat®) foi objeto de estudo de Larsson e col.^[151], que verificaram que os níveis de flúor na área próxima da aplicação se mantêm elevados durante 7 dias. Na prática clínica a aplicação dos vernizes não se faz diretamente sobre os arames, mas nas áreas adjacentes, os trabalhos de Larsson e col.^[151] e Watanabe I e Watanabe E^[145], justificaram o tempo de 5 min. A utilização de tempos elevados não teria sentido atendendo ao método utilizado para a concentração 1500 ppm no presente trabalho.

A aplicação de verniz fluoretado efetua-se em situações particulares e não de forma repetida, motivo pelo qual, os 5 min de imersão foram comuns aos três tempos de imersão avaliados.

4.1.5.2. Resultados

Dos vários trabalhos que relacionaram propriedades mecânicas de arames ortodônticos com o íon flúor, Ahrari e col.^[146], Koushik e col.^[175], Walker e col.^[143], Kaneko e col.^[162] e Perinetti e col.^[149] correlacionaram as ligas Ni-Ti e Cu-Ni-Ti. Walker e col.^[144] e Kaneko e col.^[162] correlacionam o aço e o TMA. Já Krishnan e col.^[152] e Know e col.^[115] só verificam a possível ação do flúor com o TMA.

Relativamente às diferentes propriedades mecânicas, os trabalhos de Kaneko e col., Perinetti e col.^[149] e Know e col.^[115] basearam-se em ensaios de tração até a fratura. Enquanto Ahrari e col.^[146], Koushik e col.^[175], Walker e col.^[143, 144] e Krishnan e col.^[152] recorreram a ensaios de carga-deflexão.

Embora a ação do flúor em determinadas propriedades mecânicas dos arames ortodônticos tenha sido estudada e comprovada na maioria dos trabalhos acima referidos, o possível efeito nas forças e momentos desenvolvidos por molas, independentemente da geometria, não foi ainda objeto de estudo.

4.1.5.2.1. Molas em aço

4.1.5.2.1.1. Força

O comportamento da variável força nos três tempos para as quatro condições tem padrão idêntico, não há distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados. A linha horizontal a verde nos gráficos abaixo apresentados, assinala o valor nulo para a diferença média de força. A linha vertical a verde resulta da projeção da intersecção das linhas do gráfico com a linha horizontal, indicando a ativação onde se verifica a força nula e passa a haver inversão de sinal (aumento da força).

A ativação inicial regista a diferença máxima, com um valor absoluto de 4,3 g. Com aumento da ativação as diferenças em termos absolutos diminuem e a inversão de sinal verifica-se entre a ativação 2 mm e 2,5 mm. Os resultados de sinal contrario, às ativações iniciais, tem o seu máximo em termos absolutos na ativação 2,5 mm, exceção feita à condição pH 4/1500 ppm, em que o mesmo se verifica aos 3 mm de ativação.

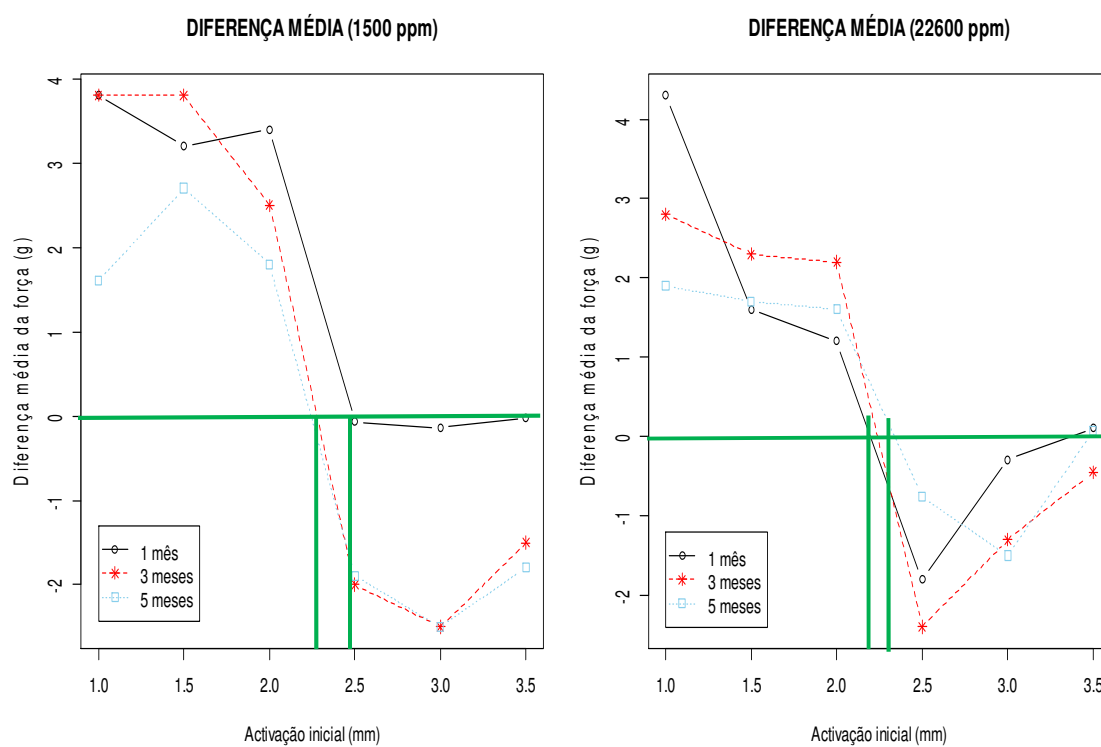
pH 4

Gráfico 56. Aço inoxidável – força pH4

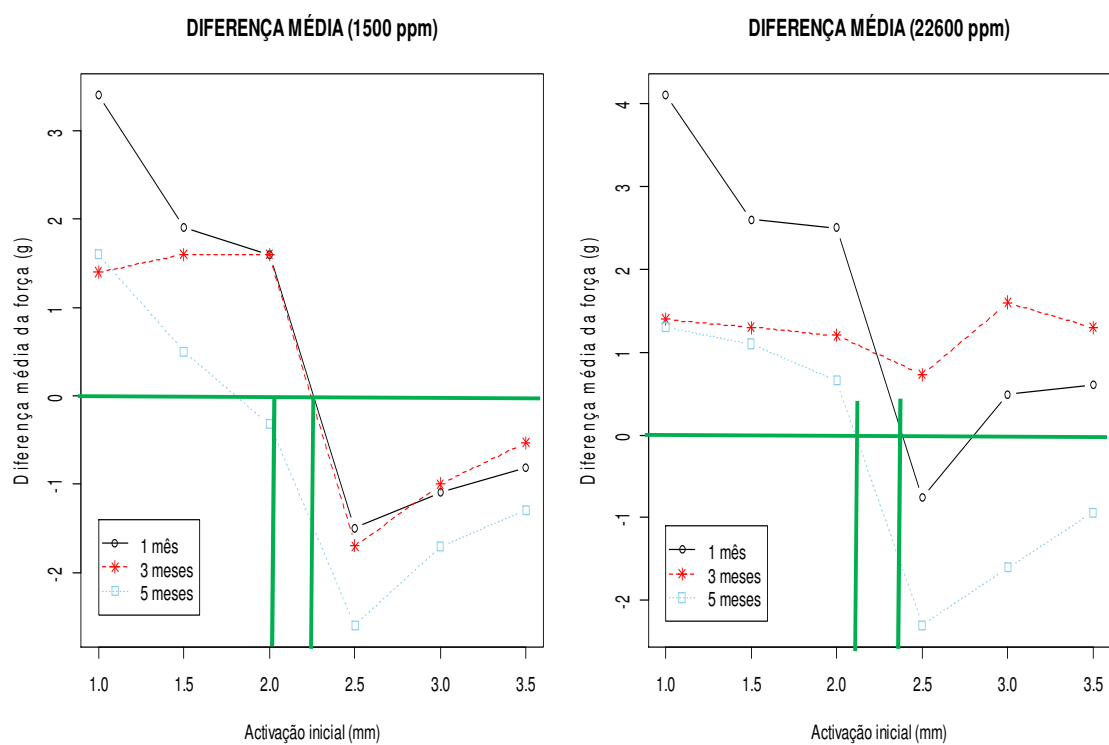
pH 6,75

Gráfico 57. Aço Inoxidável- força -pH6,75

Assim, nas ativações iniciais verifica-se uma diminuição da força com o seu máximo absoluto na ativação inicial 1 mm (4,3 g/pH 6,75 1500 ppm). Na maioria das condições na ativação 2mm/2,5mm altera o sinal, verificando-se o seu máximo (de sinal contrário) nesse valor fronteira de ativação (2,6 g/pH 4 1500 ppm).

A menor força desenvolvida nas ativações iniciais estará de acordo com os resultados de Walker e col.^[144] que verificaram que o módulo de elasticidade na fase de descarga para o aço, diminui com a imersão em meio fluoretado. Isto se atendermos a que a diminuição do módulo de elasticidade resulta numa diminuição da força desenvolvida. Ao aumento da força verificado em algumas ativações, se associarmos os resultados para a variável força obtidos pelo efeito saliva, o somatório resultará numa diminuição da força.

Kaneko e col. verificaram para o ensaio de tração, que a tensão de fratura para a liga aço registou valores inferiores no caso da imersão em meio fluoretado. Uma vez que as ativações efetuadas no presente trabalho tiveram como condição verificarem-se dentro do limite elástico do material, qualquer correlação com os ensaios de tração não é legítima.

4.1.5.2.1.2. Momento

Para cada pH, existem 36 ativações e respetivos valores. No caso de pH 4, 11 valores não apresentam diferenças estatisticamente significativas, removendo essas mesmas ativações verificamos que das 25 que restam, 20 apresentam valores positivos (acima da linha zero) e 5 valores negativos, como se constata nos gráficos abaixo apresentados. No conjunto das ativações para o pH 4 há então uma tendência total à diminuição do momento (recorde-se que valores positivos na diferença do momento, correspondem a uma diminuição do momento final registado).

Utilizando o mesmo raciocínio, no caso do pH 6,75, há 10 ativações sem diferenças estatisticamente significativas, 7 com valores positivos e 3 com valores negativos. Das 26 ativações com diferenças, 23 tem sinal positivo e 3 negativo. Também no caso do pH 6,75 se verifica uma tendência à diminuição do momento.

Em ambos os casos as diferenças estatisticamente significativas verificadas, não tem relevância em termos clínicos.

Relativamente ao flúor, conclui-se que a diferença do momento das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm. Com efeito, de acordo com o modelo estimado, a diferença das primeiras é, em média, 7.779 gmm inferior à diferença das segundas (mantendo as restantes variáveis constantes), o que mostra que a diferença das primeiras é inferior (e, de acordo com o intervalo de confiança, este valor pode estar entre -10.919 gmm e -4.639 gmm). A diferença menor encontrada para a condição 22600 ppm, poderá estar relacionada com o menor tempo de imersão, relativamente à condição 1500 ppm.

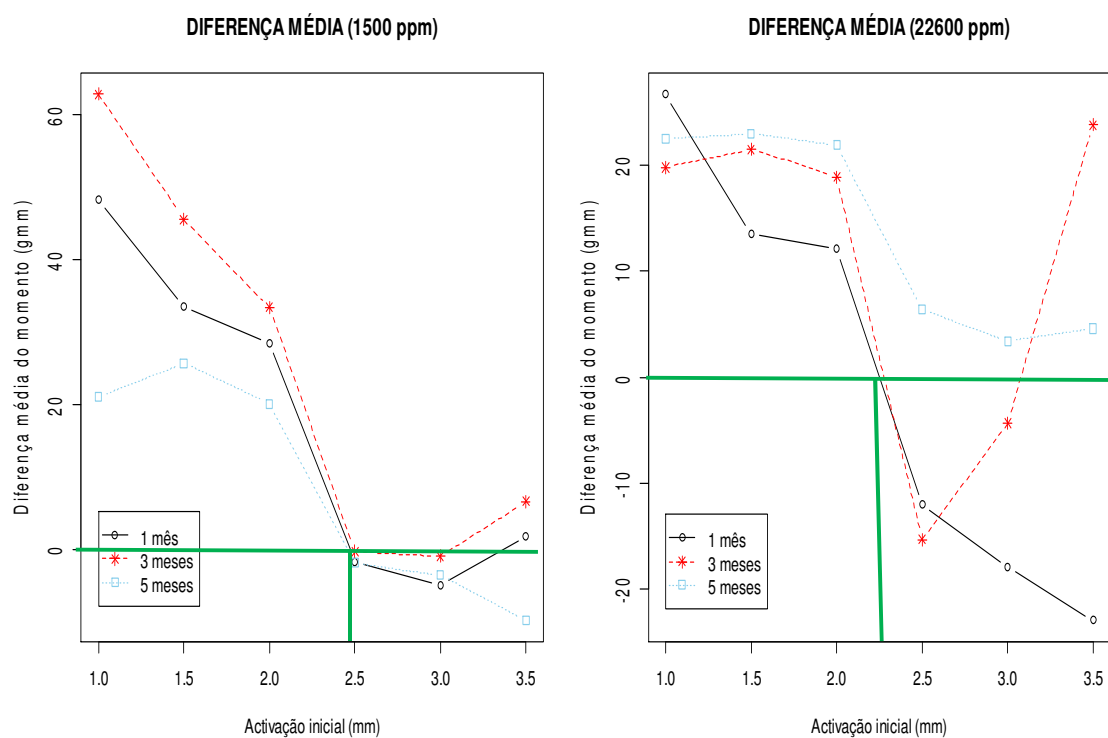
pH 4

Gráfico 58. Aço Inoxidável - momento -pH4

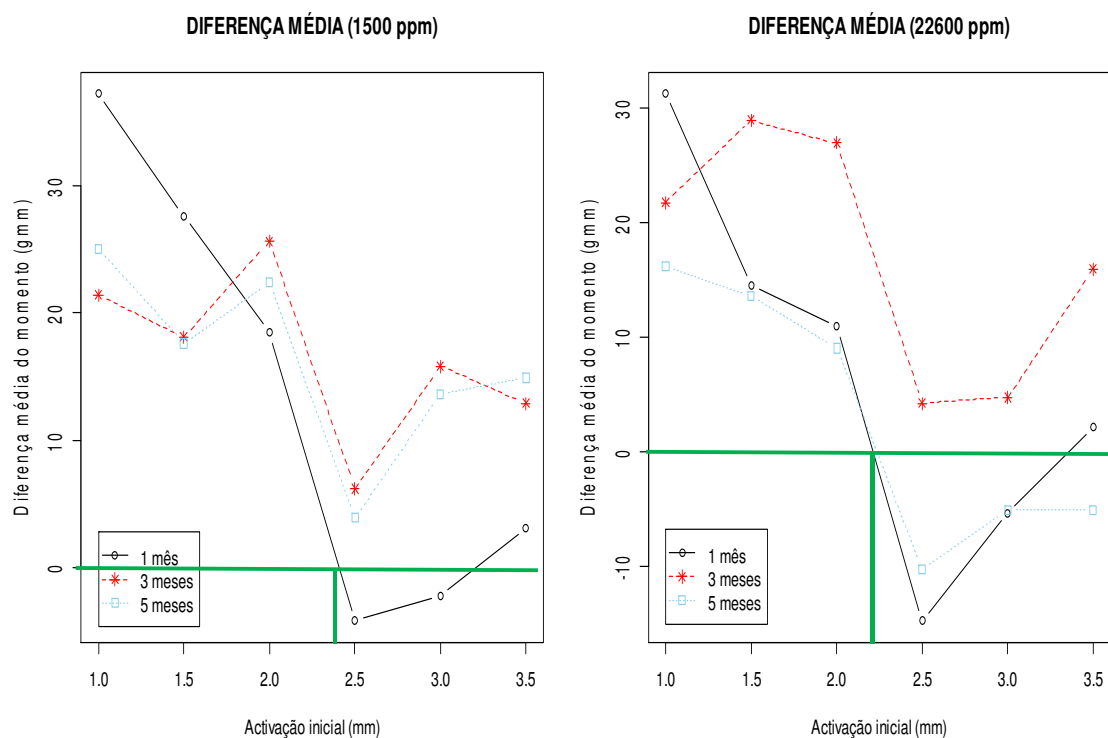
pH 6,75

Gráfico 59. EDS Aço Inoxidável – momento- pH6.75

4.1.5.2.1.3. Momento/Força

Pela observação dos gráficos abaixo apresentados constatamos que as diferenças registradas variaram entre 0,30 mm e -0,10 mm, exceção feita a duas ativações iniciais com valores ligeiramente acima de 0,4 e 0,5. Em termos clínicos a variação no tipo de movimento não terá impacto.

pH 4

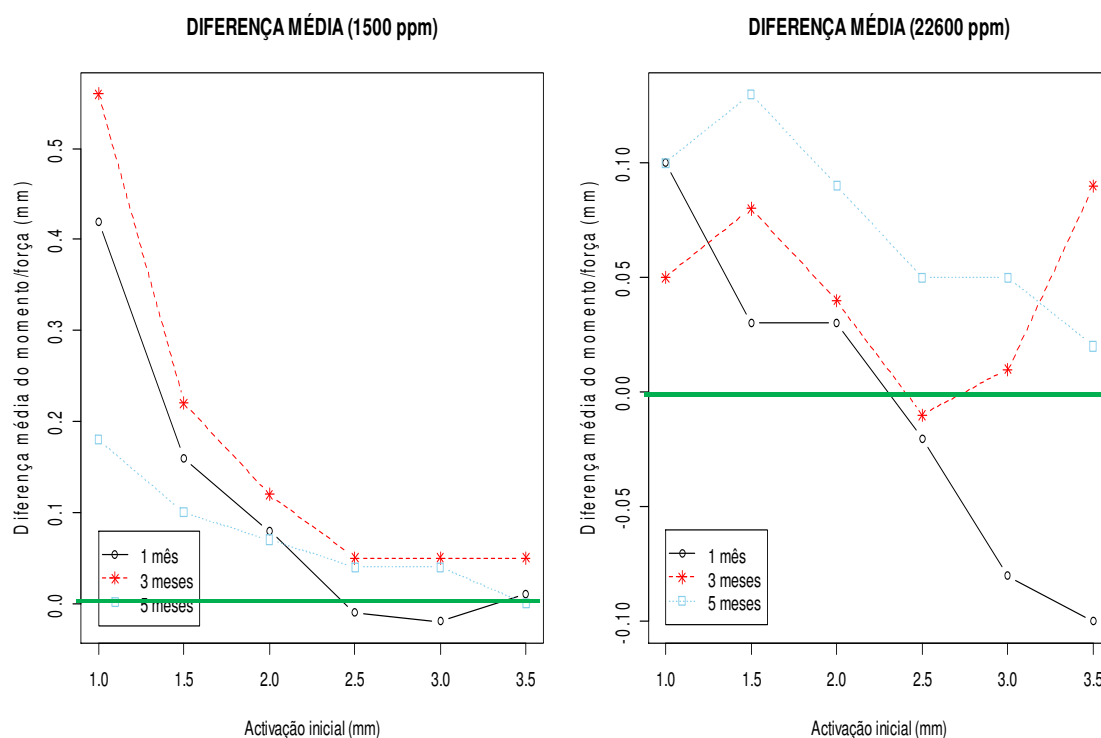


Gráfico 60. Aço Inoxidável – momento/força - pH4

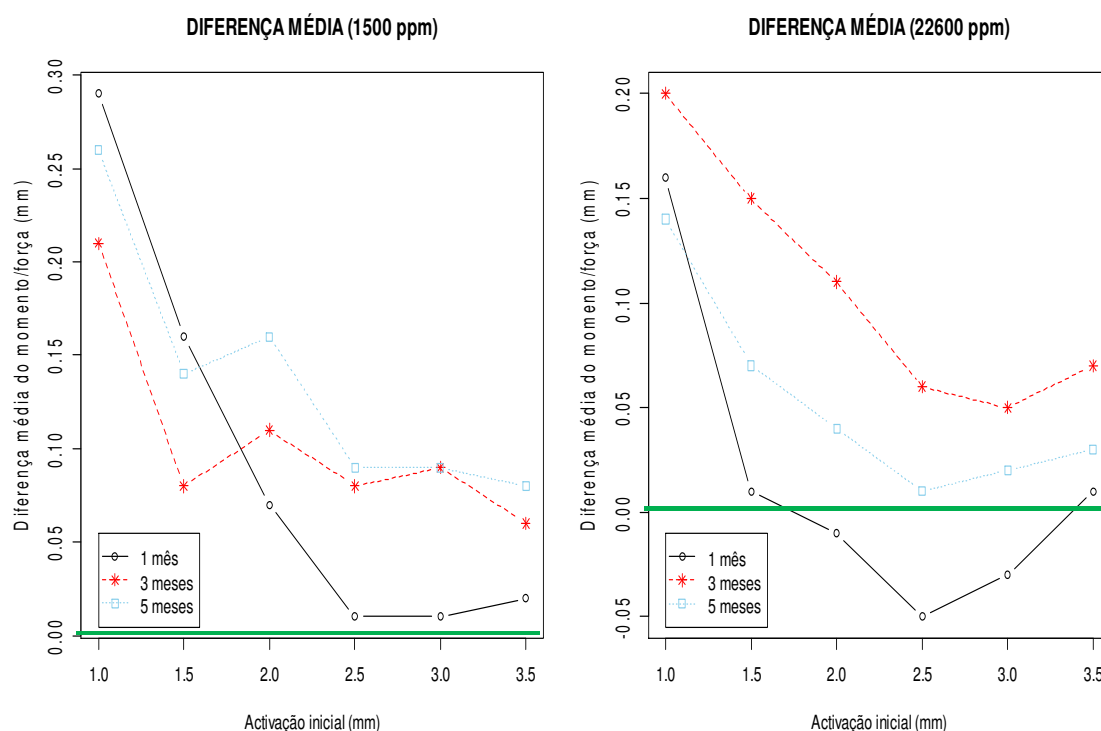
pH 6,75

Gráfico 61. Aço Inoxidável – momento/força pH6.75

4.1.5.2.2. Molas em TMA**4.1.5.2.2.1. Força**

Nas primeiras 5 ativações, t3 registou os valores mais elevados, t5 os mais baixos e t1, valores intermédios aos outros tempos. O valor máximo para cada tempo foi atingido à terceira ou quarta ativação. A diferença máxima registada diz respeito à quarta ativação na condição pH 4/22600 ppm, com 12,3 g de diferença.

A partir da terceira ou quarta ativação as diferenças diminuíram havendo inversão de sinal entre a ativação 3,5 mm e 4 mm. A ativação com o primeiro registo de sinal contrário foi quase sempre o valor mais baixo de cada linha temporal. A menor diferença registada foi de -4,04 g a pH 4/1500 ppm para a ativação 4,5 mm.

Somente o tempo 5 meses a pH 6,75, para qualquer uma das concentrações de fluor, apresenta um comportamento diferente e relativamente constante. A 1500 ppm os valores variam entre 2g e 2,8 g. A 22600 ppm, a partir da ativação 1,5 mm os valores diminuem entre 2,5 g e 1,1 g. Ambas as curvas assemelham-se a retas com valores sempre positivos.

Atendendo que à diminuição do módulo de elasticidade corresponde uma diminuição da força desenvolvida, a menor força desenvolvida nas ativações iniciais estará de acordo com os resultados de Walker e col.^[144] que verificaram que o módulo de elasticidade na fase de descarga para o TMA diminuiu com a imersão em meio fluoretado, tal como já se tinha verificado para o aço. Krishnan e col.^[152] concluíram não haver diferenças estatisticamente

significativas no módulo de elasticidade na fase de descarga para o TMA (ormco[®]) a pH 6,75 mas para uma concentração de 90 ppm e um total de 5 amostras. A inexistência de diferenças estatisticamente significativas poderá dever-se ao número da amostra uma vez que a média para o meio fluoretado foi ligeiramente menor.

Por hipótese se somarmos os resultados da imersão em saliva e em meio fluoretado, para a terceira e quarta ativação, os cerca de 20 g verificados, podem interferir no limiar do movimento, uma vez que os valores médios iniciais foram 136,5 g e 167,5 g para a quarta e quinta ativação respetivamente.

A imersão em flúor não afeta significativamente a força, ou seja, não há distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados, tal como para as molas de aço. O comportamento da variável força nos três tempos para as quatro condições tem um padrão aproximado.

pH 4

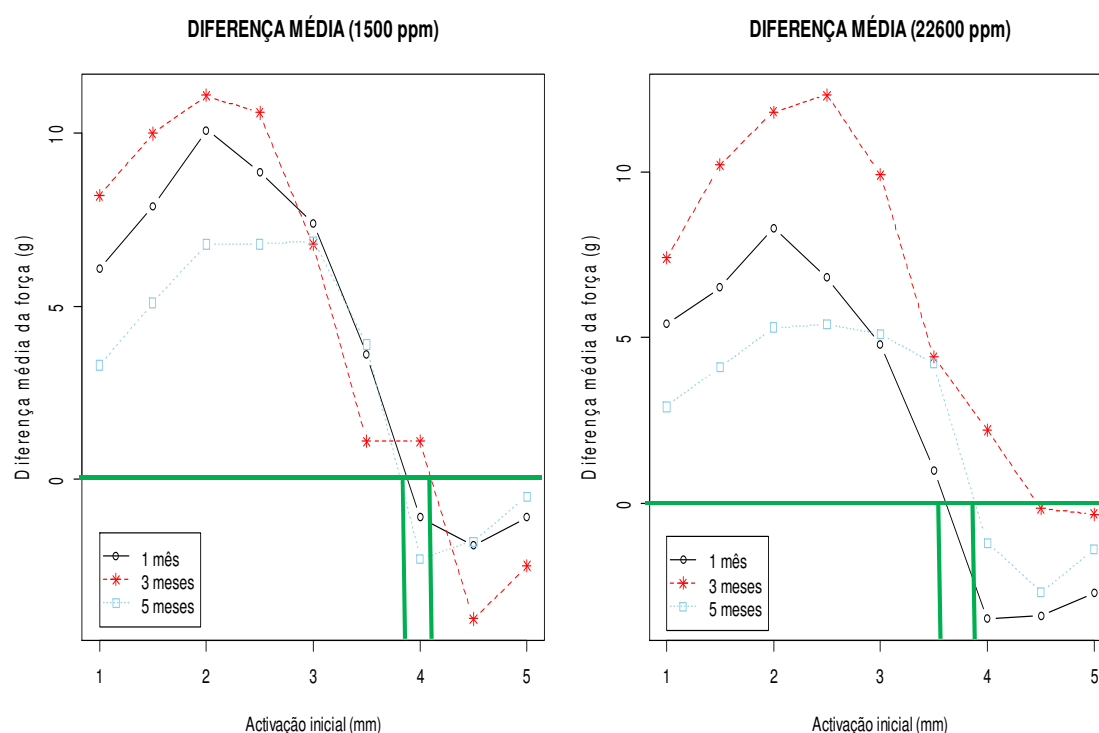


Gráfico 62. TMA - força pH4

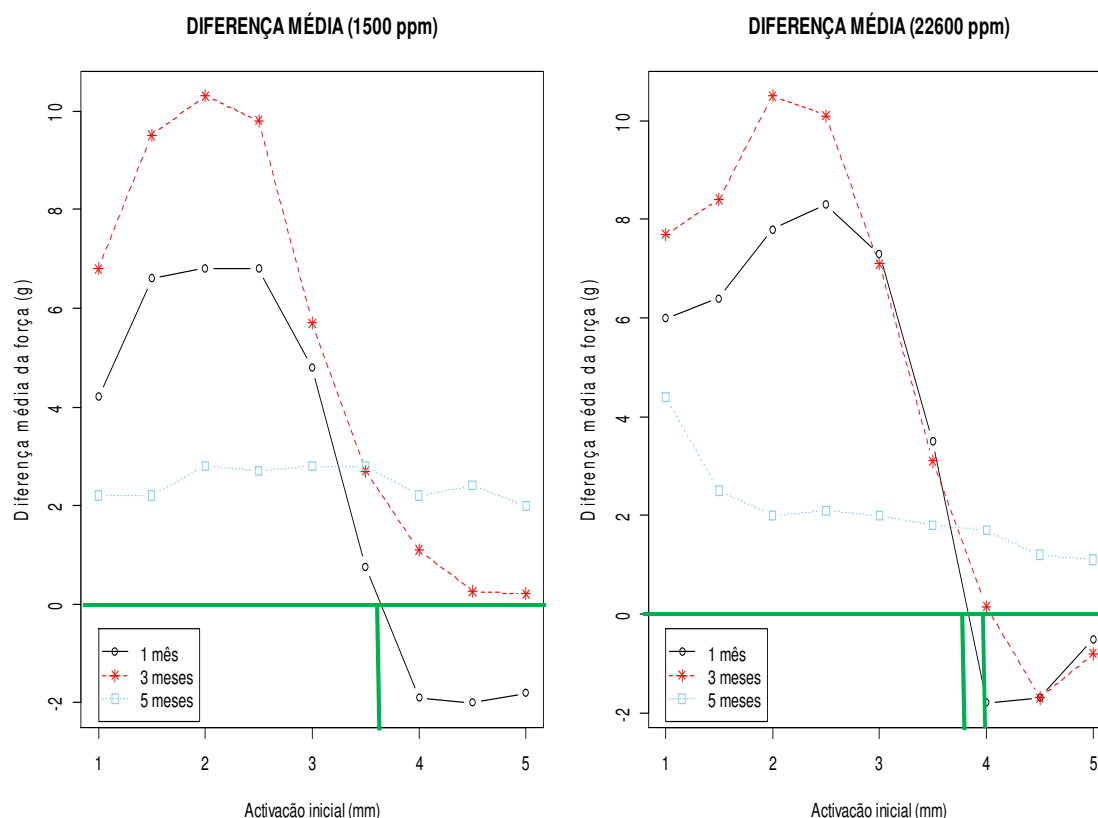
pH 6,75

Gráfico 63. TMA – força – pH6.75

4.1.5.2.2.2. Momento

Os gráficos abaixo apresentados, respeitantes às diferenças dos momentos, têm um padrão de comportamento muito próximo, dos gráficos correspondentes às diferenças na variável força. Exceção clara para o tempo 5 meses a pH 6,75, para qualquer uma das concentrações de flúor, que já não apresentam um comportamento tão constante ao longo das sucessivas ativações.

O valor máximo para cada tempo é atingido à terceira ou quarta ativação. A diferença máxima registada diz respeito à quarta ativação na condição pH 4/22600 ppm, com 89,2 gmm de diferença. Tal como para a variável força, a partir da terceira ou quarta ativação as diferenças diminuem havendo inversão de sinal entre a ativação 3,5 mm e 4 mm. A ativação com o primeiro registo de sinal contrário já não é o valor mais baixo registado por cada linha temporal como se verificou para a variável força. A menor diferença registada foi de -39,2 gmm a pH 6,75/22600 ppm para a ativação 5 mm.

Para os quatro gráficos, do total das 108 ativações registadas, 17 valores tem sinal negativo e sempre respeitantes a ativações acima dos 4 mm. O efeito fluor resulta assim numa diminuição do momento, exceção feita nas últimas três ativações em algumas condições para pH 4. No caso do pH 6,75 só se verifica aumento do momento nas três últimas ativações em t1 para ambas as concentrações de flúor.

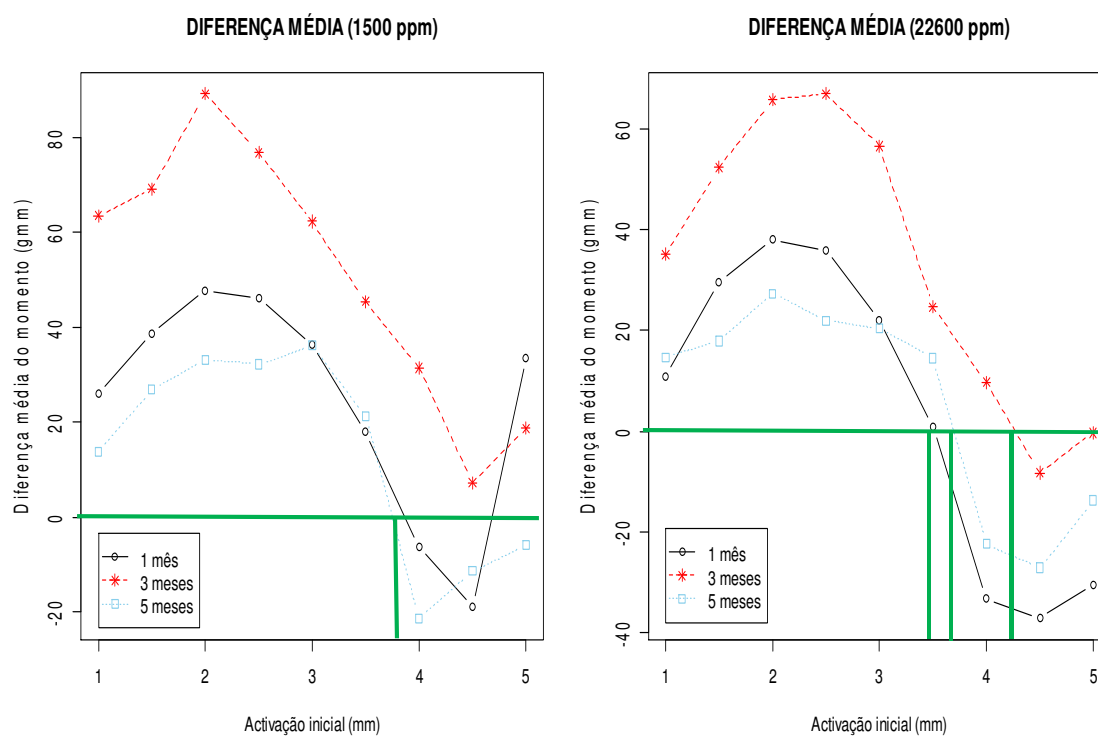
pH4

Gráfico 64. TMA – momento - pH4

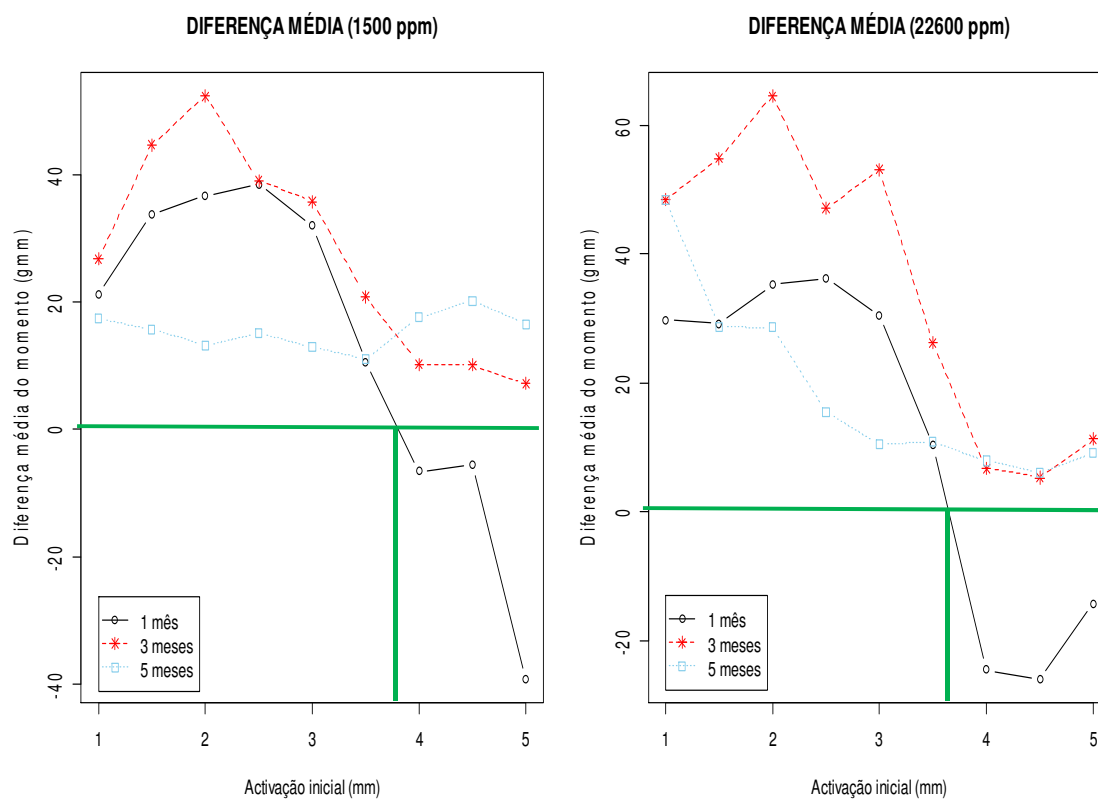
pH 6,75

Gráfico 65. TMA – momento – pH6.75

4.1.5.2.2.3. Momento/Força

Pela observação dos gráficos abaixo apresentados constatamos, tal como para as molas em aço, que as diferenças registadas oscilaram num intervalo inferior a uma unidade. A maioria das ativações variaram entre -0,3 mm e 0,3 mm, exceção feita 4 ativações iniciais com valores entre 0,3mm e 0,6 mm. Em termos clínicos a variação no tipo de movimento não terá impacto.

pH 4

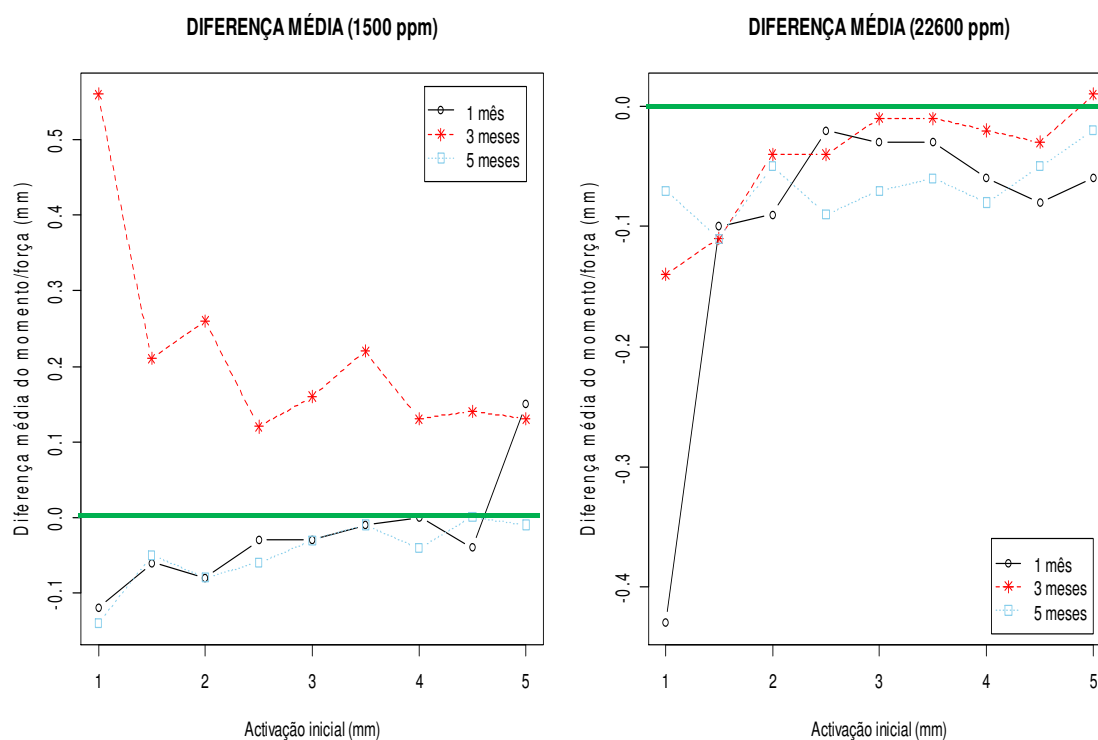


Gráfico 66. TMA – momento/força - pH4

pH 6,75

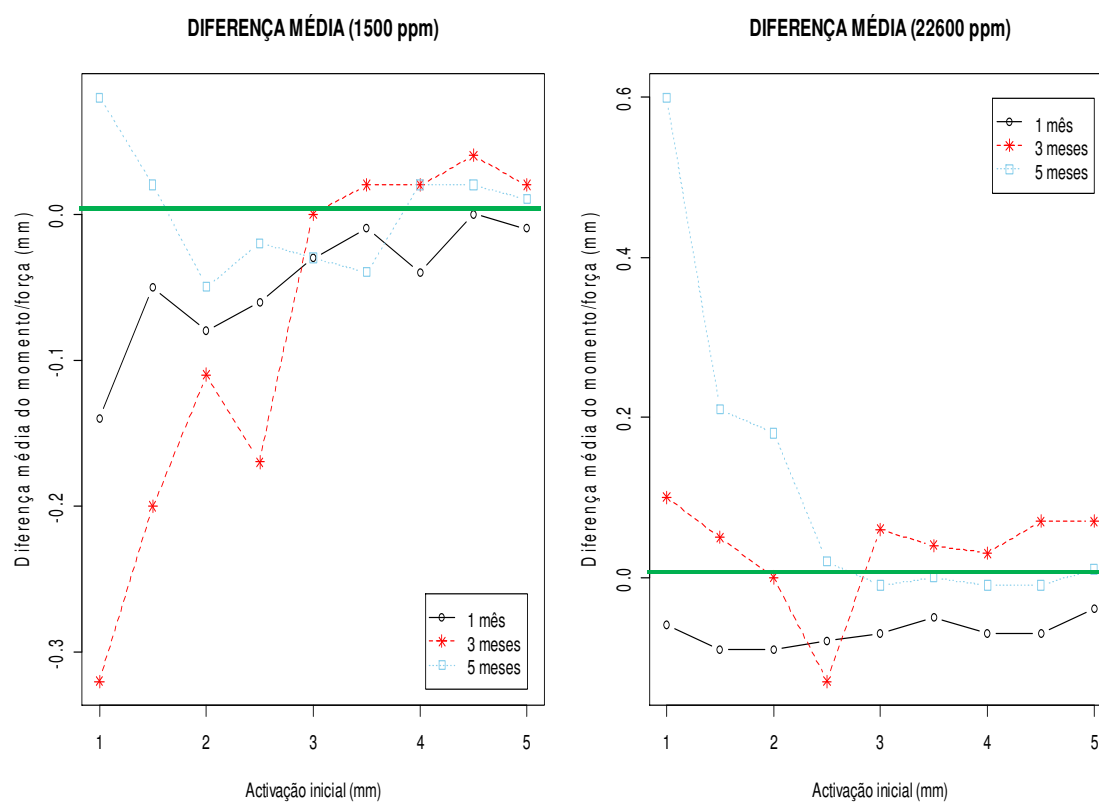


Gráfico 67. TMA momento/força – pH6.75

4.2. VARIÁVEL RUGOSIDADE

4.2.1. Material e método

A rugosidade da superfície de arcos ortodônticos pode ser quantificada usando vários métodos, incluindo a perfilometria de contato de superfície e a microscopia de força atômica. Bourauel e col.^[117] compararam a rugosidade de superfície de diferentes fios, através destas técnicas, e concluíram que os resultados entre os métodos são idênticos para o aço e TMA.

O número de amostras por grupo utilizadas em vários trabalhos com perfilometria tem variado, na maioria dos estudos^[79, 120, 145, 147] as amostras foram cinco, Krishnan e col.^[152] e Juvvadi e col.^[86] recorreram a seis enquanto Perinetti e col.^[149] apresentaram o maior número na amostra, com 11 arames.

Ao longo do trabalho experimental algumas medições foram eliminadas, devido a leituras muito desviadas associadas a erros de leitura e contaminação superficial, como exemplifica a topografia tridimensional na figura 49. No caso do mês 1, último ensaio laboratorial, só foram realizadas as medições para a condição 1500 ppm. A não realização dos ensaios para a condição 22600 deveu-se a perda na amostra, e com a intenção de um número mínimo de 10 molas por grupo, optou-se pela eliminação da condição menos frequente.

4.2.2. Rugosidade – estado inicial

Os valores de Ra para o TMA e Aço (na condição inicial) $0,140 \pm 0,042 \mu\text{m}$ e $0,032 \pm 0,026 \mu\text{m}$ respectivamente estão concordantes com os valores de $0,150 \pm 0,01 \mu\text{m}$ e $0,03 \pm 0,01 \mu\text{m}$ para o TMA e Aço apresentados por Verstrynge e col.^[79] O valor de $R_a = 0,11 \pm 0,011 \mu\text{m}$ para o TMA nas mesmas condições apresentado por Krishnan e col.^[152] é ligeiramente inferior. A comparação só é possível, uma vez que é feita para os mesmos materiais, da mesma marca, e secção idêntica, como prova o trabalho de Verstrynge e col.^[79], que identificou diferenças na rugosidade entre fabricantes.

No entanto, no trabalho de Juvvadi e col.^[86] para o mesmo material (TMA), secção e fabricante, o valor de Ra apresentado foi $0,232 \pm 0,0028 \mu\text{m}$. A diferença poderá ser devida ao método, uma vez que o “Cut-off –LC” utilizado no presente trabalho, por Verstrynge e col.^[79] e por Krishnan e col.^[152] foi $0,25 \mu\text{m}$, enquanto Juvvadi e col.^[86] não fazem referência ao mesmo. Um valor ainda superior foi referido por Watanabe e col.^[145], com um Ra de $0,369 \pm 0,029 \mu\text{m}$ para o grupo TMA.

4.2.3. Rugosidade – imersão em saliva

A maioria dos trabalhos existentes na literatura não avalia o efeito da saliva de forma isolada, mas sim após a adição de elementos fluoretados. Huang e col.^[113] apresentam um aumento de Ra após imersão em saliva por um período de 28 dias mas para arames Niti, e com um pH 2,5.

No presente trabalho, das 12 possíveis condições (pH/tempo imersão em saliva) no conjunto de ambas as ligas, só 3 condições não verificam diferenças estatisticamente significativas com diminuição da rugosidade; e dessas, só a condição TMA/pH6,75/t1 é que verificou aumento na rugosidade.

Para o grupo das molas de aço, só o tempo de 5 meses, e entre os fatores experimentais (pH e tempo de imersão) que afetam significativamente as diferenças na rugosidade, apresentou maiores diferenças, ou seja, menor rugosidade.

No grupo do TMA, relativamente ao tempo, também se concluiu que o tempo 5 meses resulta numa diminuição da rugosidade. Já para o pH verificou-se diferença, com o pH 6,75 a apresentar maior rugosidade comparativamente com pH 4.

4.2.4. Rugosidade – imersão em saliva fluoretada

A adição de flúor resultou num aumento de rugosidade em 14 das 20 condições verificadas, 5 das quais não apresentam diferença estatisticamente significativa, e só a condição TMA/pH4/3 meses/1500ppm é que verificou uma diminuição na rugosidade.

Para a liga aço, exceção feita para a condição pH4/1 mês/1500ppm que não apresentou diferença, todas as condições resultaram num aumento da rugosidade. Relativamente ao pH, conclui-se que o aumento de rugosidade é maior para pH 4. Relativamente ao fator tempo, a diferença das molas sujeitas a uma duração de 3 meses é a mais elevada, enquanto as molas sujeitas a 1 mês de imersão são as que apresentam a menor diferença. Já para o flúor as molas sujeitas a 22600 ppm apresentam maior rugosidade do que as molas a 1500 ppm.

A liga TMA, apresentou 5 das 6 condições sem aumento de rugosidade. Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença das molas sujeitas a pH 6,75 foram inferiores a pH 4, ou seja, as molas a pH 6,75 apresentaram maior rugosidade, contrariamente ao que se verificou no aço. Já relativamente ao flúor o comportamento é o mesmo que no aço, com as molas a 22600 ppm a apresentaram maior rugosidade.

Krishnan e col.^[152] para a liga TMA a pH de 6,75, tempo de imersão de 3 meses mas com uma concentração de 90 ppm verificam um aumento na rugosidade.

As diferenças entre as várias condições e métodos dos vários trabalhos não permitem uma comparação efetiva de resultados, mas é comum a todos, que o aumento do flúor e tempos de imersão, resultam num aumento da rugosidade de superfície. Os resultados de trabalhos^[147-149] com arames Ni-Ti também apontam nesse sentido.

4.2.5. Avaliação da textura tridimensional (3D) das amostras.

As figuras 32 à 37 representam topografias efetuadas para avaliação da textura tridimensional (3D) de amostras em aço e TMA para várias condições. A comparação entre figuras deve ter em atenção que a escala entre elas não é idêntica. A existência de contaminação superficial (motivo para exclusão da leitura como amostra) observada na figura 33 altera de forma significativa a escala comparativamente à figura 32.

As diferenças topográficas entre ligas e determinadas condições é facilmente perceptível na observação das figuras.

4.3. Microscopia eletrônica de varrimento

A ampliação 180X foi utilizada para uma observação menos ampliada dos locais específicos a analisar. O local A diz respeito à área superior da mola que não é dobrada e onde foi realizada a perfilometria mecânica. Nos locais B e C localizam-se as zonas de dobras do arame, que permitem a realização da geometria em estudo, zonas teoricamente mais suscetíveis à fragilização da estrutura do metal e, por hipótese, mais sujeitas à corrosão.

As ampliações 500x, 2000x e 5000x estão de acordo com o método utilizado por Juvvadi e col.^[86] para a observação por MEV de aço e TMA.

Algumas das figuras com as imagens da MEV não apresentam todas as imagens. As imagens em falta dizem respeito a condições intermédias. Esse facto deve-se a questões de economia de tempo/custos na utilização do microscópio. Consideramos as condições intermédias seriam as que potencialmente não seriam tão determinantes na obtenção de informação fundamental.

Em todas as imagens a cor mantém-se constante, contrariamente ao observado por Watanabe e col.^[145] que observam uma, descoloração, para condições idênticas. O motivo para a descoloração poderá ter sido devido ao efeito de algum excipiente existente no produto comercial utilizado por aquele autor, uma vez que a condição de pH foi 3,9 e a concentração 12300 ppm, com um tempo de imersão de 5 min, condições estas sobreponíveis às do presente trabalho.

O aumento de sinais de degradação das superfícies quando expostas a saliva fluoretada está de acordo com os resultados apresentados por Schiff e col.^[142]

Relativamente aos resultados da análise por EDS para a liga aço e TMA, estes são idênticos aos apresentados por Premanand e col.^[176]. A não observação de elementos não pertencentes às ligas estará relacionada com o método utilizado para a limpeza das amostras antes da observação microscópica.

4.4. Análise dos produtos de corrosão por espectrofotometria de absorção atômica

A escolha dos iões níquel e molibdénio para a liga aço e TMA, respectivamente, teve em consideração a análise por espectrometria de energia dispersiva obtida para cada liga e ainda a consulta de trabalhos presentes na literatura^[108, 109, 114, 115, 152] acerca da libertação de iões para essas mesmas ligas.

De acordo com Eliades e Athanasiou^[136], a concentração de iões níquel, encontrada no sangue de pacientes em tratamento ortodôntico, não foi diferente daquela encontrada em pacientes não submetidos a tratamento ortodôntico. A nossa pesquisa teve como propósito relacionar a possível libertação de iões com a corrosão. A libertação de iões pode ser considerada um parâmetro de leitura do fenómeno corrosivo.

Para a liga aço, prescindimos da leitura alusiva ao primeiro mês, teoricamente o tempo com menor libertação iônica. Verificou-se que só a condição teoricamente mais agressiva (aumento tempo imersão; meio ácido) apresentou valores acima dos limites de sensibilidade limite da técnica.

Relativamente ao TMA fizemos as leituras para todas as condições pH/tempo, com resultados que contrariam a lógica cumulativa da libertação de iões ao longo do tempo, como se verifica na tabela 41.

TMA pH 6,75	Mo (mg/L)	TMA pH 4	Mo (mg/L)
5 meses	0,131	5 meses	<0,118
3 meses	0,995	3 meses	0,165
1 mês	0,424	1 mês	<0,118

Tabela 41. Pesquisa de iões Molibdénio

Para ambas as condições de pH, a valor mais elevado de libertação de iões diz respeito ao tempo de imersão respeitante aos 3 meses, verificando-se uma diminuição na leitura feita aos 5 meses, resultado aparentemente paradoxal. Relativamente ao pH, verificou-se que ao inverso do aço, foi o pH 6,75 foi quem registou os valores mais altos em todas as condições. Houve uma única condição de pH 4, em que se registaram valores de libertação de iões acima da sensibilidade limite da técnica (0,165 mg/L aos 3 meses), o valor comparativo a pH 6,75 foi seis vezes superior.

A solubilização do metal, para além de estar relacionada com o pH, também depende das espécies em solução. Se em solução houver espécies com grande afinidade química para o metal ele sairá da fase sólida para se ligar na solução a estas espécies. Ao ligar-se às espécies em solução o metal ocupa sítios na molécula que anteriormente estavam ocupados por iões H⁺. Esta situação é favorecida por valores de pH altos porque os protões da molécula são neutralizados e os sítios ativos estão mais livres para receberem o metal.

Relativamente aos meios fluoretados, a condição pH4/1500 ppm registou um valor de 0,355 mg/L enquanto a condição pH4/22600 registou valores inferiores a 0,118 mg/L. A diferença registada estará relacionada com o menor tempo de imersão da condição 22600 ppm. Considerando que a condição pH 4 seria a mais “agressiva”, prescindiu-se da avaliação a pH 6,75. No entanto atendendo ao verificado para as condições pH/tempo será de supor que em meio fluoretado a pH 6,75 os valores sejam superiores a pH 4.

RUGOSIDADE - MEV - ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÓMICA

A diminuição da variável rugosidade (perfilometria) verificada para o aço e TMA após imersão em saliva está concordante com as diferenças observadas nas imagens obtidas em MEV. Na observação microscópica, as áreas em comparação dificilmente serão as mesmas,

no entanto para um aumento de 5000x, para todas as condições, verifica-se uma diminuição dos defeitos de superfície, nas imagens após imersão em saliva.

A diminuição da rugosidade após imersão em saliva não era um resultado esperado, no entanto esta conclusão já havia sido por nós constatada num estudo piloto, agora confirmadas pelas observações efetuadas em MEV.

Associada à diminuição da rugosidade poderá estar relacionada uma fase inicial de corrosão, em que se verifique um “aplanamento” das maiores irregularidades existentes. Ou à formação de um filme passivo caracterizado por um óxido de Crómio no caso do aço, e um óxido de titânio no caso do TMA ^[128, 136].

A associação do ião flúor resultou num aumento da rugosidade para ambas as ligas. Verifica-se nas últimas quatro imagens de cada figura respeitante à observação em MEV, um aumento dos sinais de imperfeição da superfície do material.

Relativamente à variável pH, para o aço o valor de pH 4 e para o TMA o valor de pH 6,75 são os que apresentam rugosidade aumentada. Esta diferença é perceptível na comparação das imagens obtidas em MEV. O valor aumentado da rugosidade para a liga TMA de pH 6,75 relativamente a pH 4 contradiz a ideia desenvolvida em vários trabalhos ^[115, 136, 145, 172], que referem que a diminuição de pH associada ao ião flúor aumenta a corrosão. No presente trabalho observa-se um aumento dos sinais de irregularidade das imagens de pH 6,75 comparativamente às de pH 4.

A imagem alusiva a 5 meses de imersão/22600 ppm/pH 6,75/TMA, nos 3 locais de observação a MEV, apresenta pequenas partículas, que também estão presentes na liga de aço para a condição 5 meses de imersão/22600 ppm/pH 4. No caso do TMA a presença das partículas foi comum à presença do elemento flúor enquanto no aço o elemento em causa foi o cálcio. O aumento da rugosidade constatado para estas condições através da perfilometria, poderá facilitar a permanência destes elementos à superfície das ligas.

Relativamente à espectrofotometria de absorção atómica para o aço na condição pH, a presença do ião Ni, acima da sensibilidade da técnica, só se verifica-se numa das condições e para pH 4. Estes resultados estão em concordância com o aumento dos sinais de irregularidade as observações a MEV para as mesmas condições, à maior libertação de iões metálicos estão implícitos sinais de irregularidade.

Relativamente à espectrofotometria de absorção atómica para o TMA, a maior presença de iões Mo para o pH 6,75 está concordante com a maior rugosidade verificada para o mesmo pH. Relativamente ao tempo de imersão, verificou-se uma diminuição da presença do ião Mo no tempo 5 meses, concordante com os resultados obtidos para a rugosidade

Conclusões

5. Conclusões

5.1.1. Força e momento – fase 1

Os resultados da investigação permitiram concluir o seguinte:

- Verificou-se a existência de diferenças de médias estatisticamente significativas em função da pré-ativação em todos os tipos de molas (TMA T e aço T) ao nível da força e proporção M/F.
- Para a **variável força**:
 - confirmou-se a da localização da pré-ativação influência a intensidade da força;
- Para a **variável proporção M/F**:
 - na ausência de pré-ativação as molas em TMA registaram valores superiores às molas em aço;
 - o valor máximo atingido na ausência de pré-ativação foi inferior à dimensão vertical da mola;
 - na ausência de pré-ativação registou-se um aumento da proporção M/F com a ativação, efeito contrario foi verificado nas molas com pré-ativação;
 - com a inserção de dobras de pré-ativação, na maioria das ativações, as molas em aço registaram valores superiores às molas em TMA;
 - o aumento da proporção M/F verificado com a inserção de dobras pré-ativação é maior quando a localização das dobras foi parcial ou totalmente gengival.

5.1.2. Imersão em saliva

Molas em aço

O efeito da imersão em saliva para a **variável força**:

- Relativamente à ativação inicial, concluiu-se que a diferença da força aumentou com a ativação inicial, sendo que a diferença para a ativação inicial de 1, de 1.5 e de 2 foi igual.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença da força das molas sujeitas a pH 6.75 foi superior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao tempo concluiu-se que a diferença da força aumentou com a duração do tempo.

O efeito da imersão em saliva para a **variável momento**:

- Relativamente à ativação inicial concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 foi a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma

ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5, cuja diferença foi a menor de todas.

- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a pH 6.75 foi superior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao tempo concluiu-se que a diferença do momento aumentou com a duração do tempo.

O efeito da imersão em saliva para a **variável M/F**:

- Relativamente à ativação inicial, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 foi a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, cuja diferença foi a menor de todas.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a pH 6.75 foi inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença foi a mais fraca.

Molas em TMA

O efeito da imersão em saliva para a **variável força**:

- Relativamente à ativação inicial, concluiu-se que a diferença da força diminui quando a ativação inicial aumenta.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença da força das molas sujeitas a pH 6.75 foi inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença da força aumentou com a duração do tempo.

O efeito da imersão em saliva para a **variável momento**:

- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento aumenta com a duração do tempo, sendo a maior diferença de 1 para 3 meses.

O efeito da imersão em saliva para a **variável M/F**:

- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a pH 6.75 é superior à diferença das molas sujeitas a pH 4.

5.1.3. Imersão em saliva fluoretada

Molas em aço

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável força**:

- Concluiu-se que a imersão em flúor não afecta significativamente a força, ou seja, não houve distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados.

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável momento**:

- Relativamente à ativação inicial, conclui-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 foi a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5, cuja diferença foi a menor de todas.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 5 meses, que não se distinguiram entre si.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável M/F**:

- Relativamente à ativação inicial concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 1 foi a maior, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3, cuja diferença foi a menor de todas.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença foi a mais fraca.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a 22600 ppm é inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

Molas em TMA

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável força**:

- Concluiu-se que a imersão em flúor não afetou significativamente a força, ou seja, não houve distinção entre a força média para os dois níveis de flúor considerados.

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável momento**:

- Relativamente à ativação inicial, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2 foi a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma ativação inicial 2.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 1, 1.5 ou 3, que não se distinguiram entre si, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 3.5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 5, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4 e, por fim, as molas sujeitas a uma ativação inicial de 4.5, cuja diferença foi a menor de todas.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 5 meses, que não se distinguiram entre si.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença do momento das molas sujeitas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

O efeito da imersão em saliva fluoretada para a **variável M/F**:

- Relativamente à ativação inicial, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma ativação inicial de 2.5 foi inferior à diferença das molas sujeitas a qualquer outra ativação inicial que não se distinguiram entre si.
- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença do momento/força das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi a mais forte, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses e, por fim, as molas sujeitas a uma duração de 1 mês, cuja diferença foi a mais fraca.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença da proporção M/F das molas sujeitas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

5.2. Rugosidade

5.2.1. Avaliação do efeito da saliva na rugosidade das molas

Molas em aço

- Concluiu-se que a rugosidade diminuiu com a imersão em saliva.
- A diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 5 meses foi superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 3 meses, que não se distinguiram entre si.

Molas em TMA

- Para pH 4 e todas as durações e para pH 6.75 e 5 meses, o valor médio da rugosidade diminuiu.
- No caso de pH 6.75 e 1 mês, o valor médio da rugosidade aumentou.
- No caso de pH 6.75 e 3 meses, o valor médio da rugosidade não se alterou.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH 6.75 é inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4.

- Relativamente ao tempo, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 5 meses foi superior à diferença das molas sujeitas a durações de 1 mês ou de 3 meses, que não se distinguiram entre si.

5.2.2. Avaliação do efeito do flúor na rugosidade das molas

Molas em aço

- A rugosidade média aumentou após a imersão em flúor, com exceção de pH 4 a 5 meses, e para 1500 ppm de flúor.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH 6.75 foi superior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao tempo concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a uma duração de 3 meses foi a mais elevada, seguindo-se as molas sujeitas a uma duração de 5 meses. As molas sujeitas a 1 mês registaram a menor diferença.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

Molas em TMA

- Duração de 1 mês – a rugosidade média aumentou após a imersão em flúor (1500 ppm de flúor).
- Duração de 3 meses :
 - para pH 4 e 1500 ppm de flúor, a rugosidade média diminuiu;
 - para pH 4 e 22600 ppm de flúor, a rugosidade média aumentou;
 - o valor médio da rugosidade não se alterou para os restantes casos (pH 6.75 e ambos os níveis de flúor).
- Duração de 5 meses:
 - o valor médio da rugosidade não se alterou para ambos os pH e 1500 ppm de flúor;
 - para ambos os pH e 22600 ppm de flúor, a rugosidade média aumentou.
- Relativamente ao pH, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a pH 6.75 foi inferior à diferença das molas sujeitas a pH 4.
- Relativamente ao flúor, concluiu-se que a diferença da rugosidade das molas sujeitas a 22600 ppm foi inferior à diferença das molas sujeitas a 1500 ppm.

5.3. Microscopia Eletrónica de Varrimento

- Após imersão em saliva para todas as condições verificou-se uma diminuição de irregularidades.

- Relativamente á variável pH, para o aço a pH 4 e para o TMA a pH 6,75 foi perceptível um aumento dos sinais de irregularidade nas imagens obtidas.
- A associação do ião flúor resultou num aumento dos sinais de rugosidade para ambas as ligas.

5.4. Análise dos produtos de corrosão por espectrofotometria de absorção atómica

Aço / Níquel

- A condição com o maior tempo de imersão e para o pH 4 foi a única que apresentou um resultado para o ião Ni acima do limite da sensibilidade da técnica, com 0,215 mg/L.

TMA / Molibdénio

- Relativamente ao pH, o pH 6,75 foi quem registou os valores mais altos em todas as condições.
- Relativamente à variável tempo, o valor mais elevado verificou-se aos 3 meses, seguindo-se o mês 1 e por último os 5 meses.
- A condição 3 meses a pH 6,75 registou o valor mais elevado com 0,995 mg/L.

As presentes conclusões são válidas para os materiais e geometria da mola em estudo, nas condições metodológicas utilizadas. Poderão encontrar-se diferentes resultados para distintas marcas comerciais, secção de arames e geometria de molas. Algumas destas variáveis estão em projeto para futuros trabalhos. Especificamente a metodologia da investigação na área da corrosão será ampliada com a utilização de ensaios electroquímicos.

Bibliografia

Bibliografia

1. S, W. and H. DC, *Theoretical mechanics and pratical orthodontics* Angle Orthod, 1959. **29**: p. 177-181.
2. AJ, K. and P. D, *Testing force systems and biomechanics- measured tooth movements from differential moment closing loops*. Angle Orthod, 2003. **73**: p. 270-280.
3. CJ, B., *Aplicación de la bioingeniería a la ortodoncia clínica*, in *Ortodoncia principios generales y técnicas*. 2003, Editorial Médica Panamericana S.A p. 248-280.
4. JL, V., D. JG, and K. HA, *Aparato arco de canto de Tweed-Merrifield: filosofia, diagnóstico y tratamiento.*, in *Ortodoncia principios generales y técnicas*. 2003, Editorial Médica Panamericana S.A. p. 625-682.
5. CJ, B. and K. HA, *Optimizing anterior and canine retraction*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1976. **70**: p. 1-19.
6. CJ, B., *Mechanics of the segmented arch technique* Angle Orthod, 1966. **36**: p. 99-120.
7. CA, S., *O movimento dentário ortodôntico*. . 1ª ed. 2007: Fácies - Centro de estudos Harmonia Facial, Lda.
8. RJ, S. and B. CJ, *Mechanics of tooth movement*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1984. **85**: p. 294-307.
9. K, C., et al., *Controlled space closure with a statically determinate retraction system*. Angle Orthod, 2002. **72**: p. 191-198.
10. Huang, H.H., *Surface characterizations and corrosion resistance of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva of various degrees of acidity*. J Biomed Mater Res A, 2005. **74**(4): p. 629-639.
11. Haack, D. and S. Weinstein, *Geometry and mechanics as related to tooth movement studied by means of two-dimensional model*. J Am Dental Association 1963. **66**: p. 157-164.
12. RJ, N., *On optimum force theory as applied to canine retraction*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1975. **68**: p. 290-302.
13. B, T., R. P, and R. K, *Reacciones tisulares en ortodoncia*, in *Ortodoncia principios generales y técnica* E.M.P. S.A, Editor. 2003. p. 115-183.
14. Black, J., *Systemic effects of biomaterials*. Biomaterials, 1984. **5** (1): p. 11-18.
15. Huang, H.-H., *Effect of fluoride and albumin concentration on the corrosion behavior of Ti-6Al-4V alloy*. Biomaterials, 2003. **24**: p. 275-282.
16. Y, R., M. JC, and K.-j. AM, *Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: A systematic literature review*. Angle Orthod, 2003. **73**: p. 86-92.
17. PR, B., *Differential force in orthodontic treatment*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1956. **42**: p. 481-510.
18. RS, Q. and Y. K, *A reassessment for force magnitude in orthodontics*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1985. **88**: p. 252-260.
19. WR, P. and F. H, *As bases biológicas do movimento ortodôntico*. 3ª ed. 2002, St. Louis Contempory Orthodontics
20. K, R., *Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment* Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1967. **53**: p. 721-745.
21. RJ, N., *Analytical mechanics and analysis of orthodontic tooth movements*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1982. **82**: p. 164-165.
22. Y, R., et al., *Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a mathematic model*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. **125**: p. 71-77.
23. AA, C., C. SJ, and H. RK, *Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1974. **65**: p. 250-259.

24. LR, B., *Canine retraction: A photoelastic study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1975. **67**: p. 11-23.
25. Maia, L.G.M., et al., *Photoelastic analysis of forces generated by T-loop springs made with stainless steel or titanium-molybdenum alloy*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011. **140**: p. 123-128.
26. CJ, B. and P. RJ, *Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontics forces*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1980. **77**: p. 396-409.
27. K, T., *Patterns of initial tooth displacements associated with various root lengths and alveolar bone heights*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1991. **100**: p. 66-71.
28. K, C., *Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2000. **117**: p. 98-105.
29. ML, J., et al., *A validated finite element method study of orthodontic tooth movement in the human subject*. J Orthod, 2001. **28**: p. 29-38.
30. DJ, R., W. PG, and S. GT, *A finite element model of apical force distribution from orthodontic tooth movement*. Angle Orthod, 2001. **71**: p. 127-131.
31. RS, L., M. ET, and J. JL, *A influência do posicionamento ântero-posterior da alça T segmentada durante o movimento de retracção inicial: uma avaliação pelo método dos elementos finitos*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, 2006. **11 (3)**.
32. Safavi, M., A. Geramy, and A.K. Kamyar Khezri, *M/F ratios of four different closing loops: 3D analysis using the finite element method (FEM)*. Aust Orthod J, 2006. **22**: p. 121-126.
33. Techalertpaisan, P. and A. Versluis, *How do mechanical responses at closing loop ends vary when loop position changes? A systematic analysis of vertical, T-, and L-loops* Oral Science International 2013. **10**: p. 58-64.
34. Techalertpaisan, P. and A. Versluis, *Mechanical properties of Opus closing loops, L-loops, and T-loops investigated with finite element analysis*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2013. **143**: p. 675-683.
35. CJ, B., *Rationale of the segmented arch*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1962. **48**: p. 805-821.
36. DF, L. and N. RJ, *Effects of stress relief on the mechanical properties of orthodontic wire loops*. Angle Orthod, 1980. **50**: p. 139-145.
37. P, G., *Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine retraction spring*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1985. **87**: p. 353-362.
38. RM, R., et al., *Técnica bioprogressiva de Ricketts*. 2ª ed. 1989: Editorial Médica Panamericana S.A.
39. P, G., *Controlled retraction of maxillary incisors*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1992. **101**: p. 120-131.
40. M, D., G. A, and T. T, *The retraction of upper incisors with the PG retraction system*. European J Orthodontics 2000. **22**: p. 33-41.
41. G, T., et al., *A utilização de diferentes configurações de molas "T" para obtenção de sistemas de forças otimizados*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, 2006. **11**: p. 55-77.
42. EH, H., et al., *Optimal force, differential force and anchorage*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1969. **55**: p. 437-457.
43. K, R., *Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1957. **43**: p. 32-45.
44. M, L., *Therapeutique Orthodontique*. p. 16-86.
45. TF, M., *Common sense mechanics 1*. J Clin Orthod 1979. **12**: p. 588-594.
46. Haack, D., *The science of mechanics and its importance to analysis and research in the field of orthodontics*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1963. **49**: p. 330-344.
47. MR, M., *Prediction of tooth movement*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1976. **69**: p. 511-523.
48. SJ, L., *The basics of orthodontic mechanics*. Seminars in Orthodontics 2001. **7**: p. 2-15.

49. C, D., *Equilibrium situations in bend force systems*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1990. **98**: p. 333-339.
50. WT, D. and D. RA, *Tooth statics: equilibrium of a free-body*. J. A. D. A. , 1964. **68**: p. 653-666.
51. MR, M., *Mecânica em Ortodontia*, in Marcotte MR. *Biomecânica em Ortodontia*, L.S. Editora, Editor. 2003. p. 1-21.
52. IS, P., *The center of resistance of teeth in Orthodontics*. Hellenic Orthodontic review 2005. **8**: p. 43-57.
53. RL, C. and B. CJ, *Centers of rotation within the periodontal space*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1969. **55**: p. 353-369.
54. D, V., et al., *Determination of the centre of resistance in an upper human canine an idealized tooth model*. European J Orthodontics, 1999. **21**: p. 633-648.
55. K, T., K. HA, and B. CJ, *Moment to force ratio and the center of rotation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1988. **94**: p. 426-431.
56. K, T., et al., *Patterns of initial tooth displacements associated with various root lengths and alveolar bone heights*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1991. **100**: p. 66-71.
57. LR, D. and V.B. MM, *Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1986. **89**: p. 251-263.
58. B, M., F. V, and B. CJ, *Vertical forces considerations in differential space closure*. J Clin Orthod, 1990. **24**: p. 678-683.
59. E, P., et al., *Location of centres of resistance for maxillary anterior teeth measured on human autopsy material*. European J Orthodontics, 1991. **13**: p. 452-458.
60. N, Y., et al., *In vivo determination of the centres of resistance of maxillary anterior teeth subjected to retraction forces*. European J Orthodontics, 2001. **23**: p. 529-534.
61. K, C., K. K, and B. CJ, *Initial changes of centre of rotation of the anterior segment in response to horizontal forces*. European J Orthodontics, 2006. **28**: p. 471-474.
62. K, C., et al., *Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2000. **117**: p. 98-105.
63. TF, M., *Common sense mechanics 2. Forces and Moments*. J Clin Orthod, 1979. **13**: p. 676-683.
64. MT, S., et al., *Técnica do arco segmentado de burstone*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, 2000. **5**: p. 91-115.
65. WR, P. and F. HW, *Princípios mecânicos no controle da força ortodôntica*, in *Ortodontia contemporânea*, E.G.K. S.A, Editor. 2002. p. 307-339.
66. SJ, L. and I. RJ, *One-Couple orthodontic appliance systems*. Seminars in Orthodontics, 1995. **1**: p. 12-24.
67. CJ, B. and K. HA, *Force systems from an ideal arch*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1974. **65**: p. 270-289.
68. DJ, H., *Ideal arch force systems: A center-of-resistance perspective*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1998. **114**: p. 256-264.
69. RP, K., *Influence of force systems on archwire-bracket combinations*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005. **127**: p. 333-342.
70. CJ, B. and K. HA, *Creative wire bending – The force system from step and V bends*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1988. **93**: p. 59-67.
71. V, U., U. V, and T. P, *Assessment of Castigliano's theorem on the analysis of closing loop for canine retraction by experiment and finite element method. Part I*. Thammasat Int. J. Sc. Tech, 2005. **10**: p. 28-37.
72. J, F., *Translation of premolars in the dog by controlling the moment-to-force ratio on the crown*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1971. **59**: p. 541-551.
73. RE, S., *Force system analysis of V-Bend mechanics*. J Clin Orthod, 1994. **28**: p. 539-546.
74. CJ, B., B. JJ, and L. DT, *The application of continous forces to orthodontics*. Angle Orthod, 1961. **31**: p. 1-14.

75. S, B. and M. MR, *Rationale of the segmented approach to orthodontic treatment*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1995. **108**: p. 1-8.
76. Quintão, C.C.A. and I.H.V.P. Brunharo, *Orthodontic wires: knowledge ensures clinical optimization*. Dental Press J Orthod, 2009. **14**(6): p. 144-157.
77. Kusy, R.P., *A review of contemporary archwires: their properties and characteristics*. Angle Orthod, 1997. **67**(3): p. 197-207.
78. Kapila, S. and R. Sachdeva, *Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1989. **96**(2): p. 100-109.
79. Verstrynge, A., J. Van Humbeeck, and G. Willems, *In-vitro evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. **130**(4): p. 460-470.
80. Oh, K.-T., et al., *A stainless steel bracket for orthodontic application*. Eur J Orthod, 2005. **27**(3): p. 237-244.
81. Burstone, C.J. and A.J. Goldberg, *Beta titanium: a new orthodontic alloy*. Am J Orthod, 1980. **77**(2): p. 121-132.
82. Santoro, M., O.F. Nicolay, and T.J. Cangialosi, *Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: A clinically oriented review. Part I: Temperature transitional ranges*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001. **119**(6): p. 587-593.
83. Santoro, M., O.F. Nicolay, and T.J. Cangialosi, *Pseudoelasticity and thermoelasticity of nickel-titanium alloys: A clinically oriented review. Part II: Deactivation forces*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001. **119**(6): p. 594-603.
84. Kaneko, K., et al., *Delayed fracture of beta titanium orthodontic wire in fluoride aqueous solutions*. Biomaterials, 2003. **24**(12): p. 2113-2120.
85. Gurgel, J.A., C. R. M. Pinzan-Vercelino, and J.M. Powers, *Mechanical properties of beta-titanium wires*. Angle Orthod, 2011. **81**(3): p. 478-483.
86. Juvvadi, S.R., et al., *Physical, mechanical, and flexural properties of 3 orthodontic wires: an in-vitro study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. **138**(5): p. 623-630.
87. CJ, B., *Variable-modulus orthodontics*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1981. **80**: p. 1-16.
88. SB, I. and S. RJ, *Comparative range of orthodontic wires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1986. **90**: p. 296-307.
89. J, O., M. T, and M. E, *The effects of loops on the torsional stiffnesses of rectangular wires: an in vitro study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996. **109**: p. 496-505.
90. MG, F., et al., *On the use of vertical loops in retraction systems*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1991. **99**: p. 328-336.
91. RE, S., *Continuous arch wire closing loop design, optimization, and verification. Part I*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**: p. 393-402.
92. RE, S., *Continuous arch wire closing loop design, optimization, and verification. Part II*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**: p. 487-495.
93. DW, R., et al., *Three-dimensional effects in retraction appliance design*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**: p. 378-392.
94. TR, K., L. YP, and C. J, *The effects of first- and second-order gable bends on forces and moments generated by triangular loops*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. **129**: p. 54-59.
95. CJ, B., *The segmented arch approach to space closure*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1982. **82**: p. 361-378.
96. C, M., M. JY, and B. CJ, *Space closure in adult patients using the segmented arch technique*. Angle Orthod, 1989. **59**: p. 205-210.
97. J, C., M. DL, and K. TR, *Effects of T-loop geometry on its forces and moments*. Angle Orthod, 2000. **70**: p. 48-51.
98. AJ, K. and B. CJ, *T-Loop position and anchorage control*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**: p. 12-18.

99. C, B., et al., *Superelastic nickel titanium alloy retraction springs – an experimental investigation of force systems*. European J Orthodontics, 1997. **19**: p. 491-500.
100. RF, V., *Self-corrective T-loops design for diferential space closure*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. **129**: p. 48-53.
101. S, B., S. RC, and L. HL, *On the management of extraction sites*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **112**: p. 645-655.
102. DJ, H., *Understanding orthodontic loop preactivation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1998. **113**: p. 237-241.
103. S, B. and G. JL, *The gable bend revisited*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2002. **122**: p. 523-527.
104. RH, S., et al., *Comportamento mecânico da alça Bull modificada durante o fechamento de espaços em ortodontia*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, 2002. **7**: p. 13-24.
105. RH, S., et al., *Desempenho biomecânico da alça “T”, construída com fio de aço inoxidável, durante o fechamento de espaços no tratamento ortodôntico*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, 2002. **7**: p. 49-61.
106. Thiesen, G., et al., *Determination of the force systems produced by different configurations of tear drop orthodontic loops*. Dental Press J Orthod, 2013. **18**: p. 18-19.
107. Caldas, S.G.F.R., et al., *Force system evaluation of symmetrical beta-titanium T-loop springs preactivated by curvature and concentrated bends*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011. **140**: p. 53-58.
108. Kao, C.-T., et al., *The cytotoxicity of orthodontic metal bracket immersion media*. Eur J Orthod, 2007. **29**(2): p. 198-203.
109. Yonekura, Y., et al., *In Vitro Corrosion Characteristics of Commercially Available Orthodontic Wires*. Dental Materials Journal, 2004. **23**(2): p. 197-202.
110. Rahilly, G. and N. Price, *Current products and practice: nickel allergy and orthodontics*. JO, 2003. **30**(2): p. 171-174.
111. Petoumeno, E., et al., *Corrosion susceptibility and nickel release of nickel titanium wires during clinical application*. J Orofac Orthop, 2008. **69**(6): p. 411-423.
112. Agarwal, P., et al., *Nickel allergy and orthodontics*. Asian J Oral Health Allied Sci, 2011. **1**(1): p. 61-63.
113. Huang, H.H., et al., *Ion release from NiTi orthodontic wires in artificial saliva with various acidities*. Biomaterials, 2003. **24**(20): p. 3585-3592.
114. Sfondrini, M.F., et al., *Nickel release from new conventional stainless steel, recycled, and nickel-free orthodontic brackets: An in vitro study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. **137**(6): p. 809-815.
115. Kwon, Y.H., et al., *Effect of acidic fluoride solution on β titanium alloy wire*. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2005. **73B**(2): p. 285-290.
116. Kao, C.-T., et al., *Cytotoxicity of orthodontic wire corroded in fluoride solution in vitro*. Angle Orthod, 2007. **77**(2): p. 349-354.
117. C, B., et al., *Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance, and profilometry*. European J Orthodontics, 1998. **20**: p. 79-92.
118. J, D., C. JP, and W. G, *Morphological characterization of as-received and in vivo orthodontic stainless steel archwires*. European J Orthodontics, 2009. **31**: p. 260-265.
119. RP, K., et al., *Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy*. Angle Orthod, 1988. **58**: p. 33-45.
120. F, A., et al., *Variations in surface roughness of seven orthodontic archwires: an SEM-profilometry study*. Korean J Orthod 2012. **42**(3): p. 129-137.
121. F, W., et al., *Corrosion and biocompatibility of orthodontic wires*. J Mater Sci Mater Med, 1999. **10**: p. 275-281.
122. Y, O., S. RC, and M. S, *Microanalytical characterization and surface modification of TiNi orthodontic archwires*. Biomed Mater Eng 1992. **2**: p. 51-69.

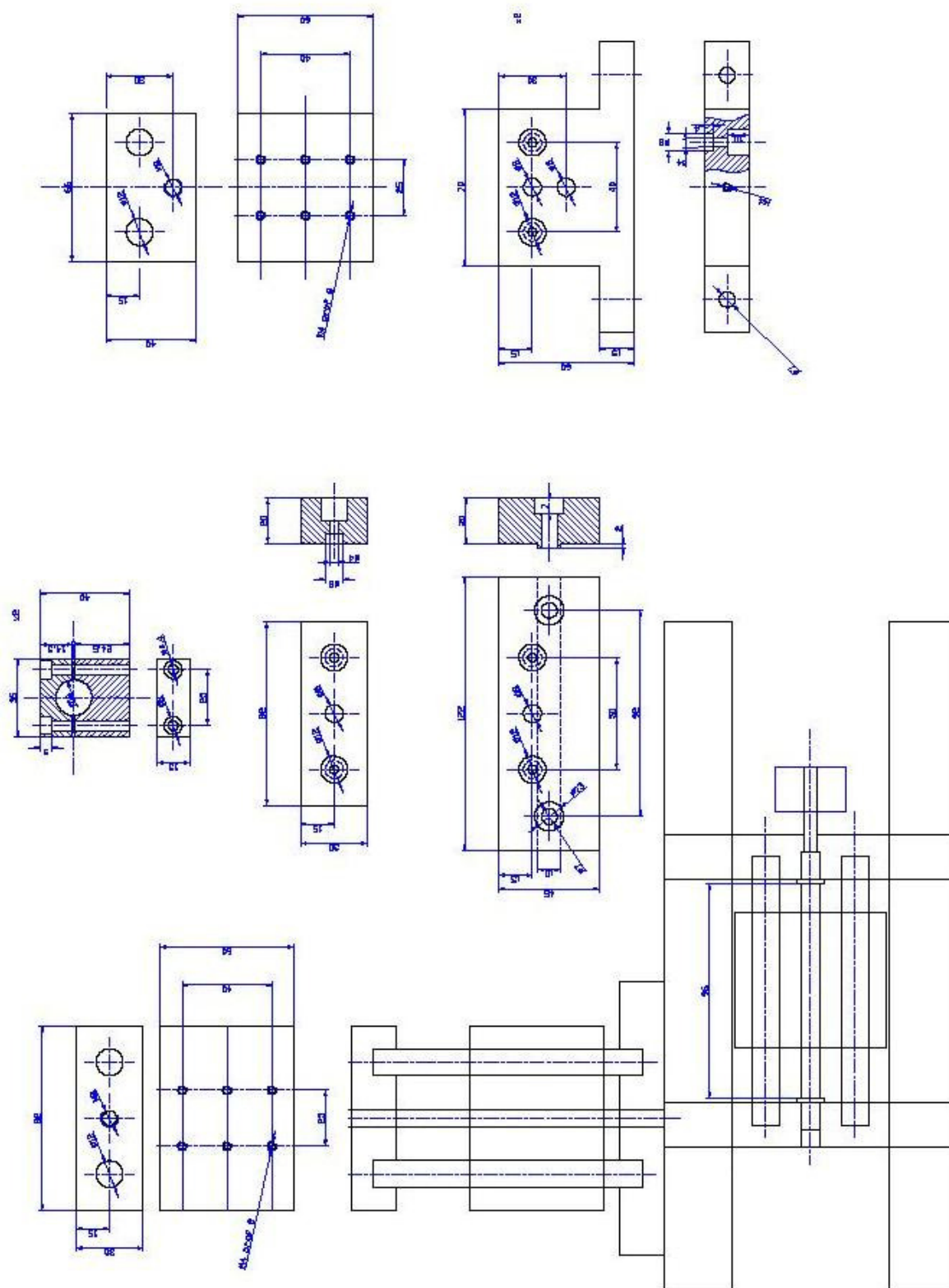
123. Huang, H.H., *Variation in corrosion resistance of nickel-titanium wires from different manufacturers*. Angle Orthod, 2005. **75**(4): p. 661-665.
124. Lee, T.-H., et al., *Corrosion resistance of different nickel-titanium archwires in acidic fluoride-containing artificial saliva*. Angle Orthod, 2010. **80**(3): p. 547-553.
125. House, K., et al., *Corrosion of orthodontic appliances—should we care?* Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. **133**(4): p. 584-592.
126. Matono, Y., et al., *Corrosion behavior of pure titanium and titanium alloys in various concentrations of acidulated phosphate fluoride (APF) solutions*. Dent Mater J, 2006. **25**(1): p. 104-112.
127. Kocijan, A., D.K. Merl, and M. Jenko, *The corrosion behaviour of austenitic and duplex stainless steels in artificial saliva with the addition of fluoride*. Corros Sci 2011. **53**(2): p. 776-783.
128. Barcelos, A.M., et al., *Corrosion evaluation of orthodontic wires in artificial saliva solutions by using response surface methodology*. Mat Res, 2013. **16**(1): p. 50-64.
129. Kang, E.H., et al., *Corrosion-related changes on Ti-based orthodontic brackets in acetic NaF solutions: Surface morphology, microhardness, and element release*. Dent Mater J, 2008. **27**(4): p. 555-560.
130. Katič, V., et al., *Determination of corrosion rate of orthodontic wires based on nickel-titanium alloy in artificial saliva*. Materwiss Werksttech, 2014. **45**(2): p. 99-105.
131. Ünal, H.I., *Effect of fluoride added artificial saliva solution on orthodontic wires*. Prot Met 2012. **48**(3): p. 367-370.
132. Ahn, H.S., et al., *Effect of pH and temperature on orthodontic NiTi wires immersed in acidic fluoride solution*. J Biomed Mater Res, Part B, 2006. **79**(1): p. 7-15.
133. Nakagawa, M., S. Matsuya, and K. Udoh, *Effects of Fluoride and Dissolved Oxygen Concentrations on the Corrosion Behavior of Pure Titanium and Titanium Alloys*. Dent Mater J, 2002. **21**(2): p. 83-92.
134. Kuhta, M., et al., *Type of archwire and level of acidity: Effects on the release of metal ions from orthodontic appliances*. Angle Orthod, 2009. **79**(1): p. 102-110.
135. Fais, L.M.G., et al., *Titanium surface topography after brushing with fluoride and fluoride-free toothpaste simulating 10 years of use*. Journal of dentistry, 2012. **40**(4): p. 265-275.
136. Eliades, T. and A.E. Athanasiou, *In Vivo Aging of Orthodontic Alloys: Implications for Corrosion Potential, Nickel Release, and Biocompatibility*. Angle Orthod, 2002. **72**(3): p. 222-237.
137. Figueira, N., et al., *Corrosion behaviour of NiTi alloy*. Electrochim Acta, 2009. **54**(3): p. 921-926.
138. Lussi, A., E. Hellwig, and J. Klimek, *Fluorides – mode of action and recommendations for use*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 2012. **122**: p. 1030-1036.
139. Schiff, N., et al., *Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes*. Eur J Orthod, 2006. **28**(3): p. 298-304.
140. Schiff, N., et al., *Influence of fluoridated mouthwashes on corrosion resistance of orthodontics wires*. Biomaterials, 2004. **25**(19): p. 4535-4542.
141. Muguruma, T., et al., *Effects of sodium fluoride mouth rinses on the torsional properties of miniscrew implants*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011. **139**(5): p. 588-593.
142. Schiff, N., et al., *Influence of fluoride content and pH on the corrosion resistance of titanium and its alloys*. Biomaterials, 2002. **23**(9): p. 1995-2002.
143. Walker, M.P., R.J. White, and K.S. Kula, *Effect of fluoride prophylactic agents on the mechanical properties of nickel-titanium-based orthodontic wires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005. **127**(6): p. 662-669.
144. Walker, M.P., et al., *Mechanical properties and surface characterization of beta titanium and stainless steel orthodontic wire following topical fluoride treatment*. Angle Orthod, 2007. **77**(2): p. 342-348.
145. Watanabe, I. and E. Watanabe, *Surface changes induced by fluoride prophylactic agents on titanium-based orthodontic wires*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2003. **123**(6): p. 653-656.

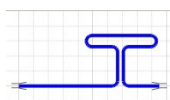
146. Ahrari, F., et al., *The effect of fluoride exposure on the loaddeflection properties of superelastic nickeltitanium-based orthodontic archwires*. Aust Orthod J, 2012: p. 72-79.
147. Abalos, C., et al., *Influence of topographical features on the fluoride corrosion of Ni-Ti orthodontic archwires*. J Mater Sci: Mater Med, 2011. **22**: p. 2813-2821.
148. Huang, H.-H., *Variation in surface topography of different NiTi orthodontic archwires in various commercial fluoride-containing environments*. Dent Mater, 2007. **23**(1): p. 24-33.
149. Perinetti, G., et al., *Surface corrosion and fracture resistance of two nickel-titanium-based archwires induced by fluoride, pH, and thermocycling. An in vitro comparative study*. European J Orthodontics, 2012. **34**(1): p. 1-9.
150. Bergstrand, F. and S. Twetman, *A review on prevention and treatment of post-orthodontic white spot lesions – Evidence-based methods and emerging technologies*. The open Dentistry Journal, 2011. **5**: p. 158-162.
151. Sköld-Larsson, K., T. Modéer, and S. Twetman., *Fluoride concentration in plaque in adolescents after topical application of different fluoride varnishes*. Clin Oral Invest, 2000. **4**: p. 31-34.
152. Krishnan, V., et al., *Development and evaluation of two PVD-coated β -titanium orthodontic archwires for fluoride-induced corrosion protection*. Acta Biomaterialia, 2011. **7**: p. 1913-1927.
153. Boere, G., *Influence of fluoride on titanium in an acidic environment measured by polarization resistance technique*. J Appl Biomater, 1995. **6**: p. 283-288.
154. Toumelin-Chemla, F., F. Rouelle, and G. Burdairon, *Corrosive properties of fluoride-containing odontologic gels against titanium*. J Dent, 1996. **24**(1-2): p. 109-115.
155. Tal-Gutelmacher, E. and D. Eliezer, *Embrittlement of secondary Hydrogen-containing phases in Titanium-based alloys*. Glass Phys Chem, 2005. **31**(1): p. 96-101.
156. Tal-Gutelmacher, E. and D. Eliezer, *The hydrogen embrittlement of titanium-based alloys*. JOM, 2005. **57**(9): p. 46-49.
157. Huang, H.-H., *Corrosion resistance of stressed NiTi and stainless steel orthodontic wires in acid artificial saliva*. J Biomed Mater Res A, 2003. **66A**(4): p. 829-839.
158. Lin, M.-C., et al., *Surface analysis and corrosion resistance of different stainless steel orthodontic brackets in artificial saliva*. Angle Orthod, 2006. **76**(2): p. 322-329.
159. Kim, H. and J.W. Johnson, *Corrosion of stainless steel, nickel-titanium, coated nickel-titanium, and titanium orthodontic wires*. Angle Orthod, 1999. **69**(1): p. 39-44.
160. Mirjalili, M., et al., *Comparative study on corrosion behaviour of Nitinol and stainless steel orthodontic wires in simulated saliva solution in presence of fluoride ions*. Mater Sci Eng C 2013. **33**(4): p. 2084-2093.
161. Kassab, E.J. and J.P. Gomes, *Assessment of nickel titanium and beta titanium corrosion resistance behavior in fluoride and chloride environments*. Angle Orthod, 2013. **83**(5): p. 864-869.
162. Kaneko, K., et al., *Degradation in performance of orthodontic wires caused by hydrogen absorption during short-term immersion in 2.0% acidulated phosphate fluoride solution*. Angle Orthod, 2004. **74**(4): p. 487-495.
163. Ogawa, T., et al., *Hydrogen absorption behavior of beta titanium alloy in acid fluoride solutions*. Biomaterials, 2004. **25**(12): p. 2419-2425.
164. al., C.E.e., *Efeito de Dois Sistemas de Branqueamento na Rugosidade da Superfície do Esmalte*. Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária , Cirurgia Maxilofacial, 2007. **48**: p. 69-77.
165. N, H., T. S, and M. M, *Galvanic interaction between titanium and gallium alloy or dental amalgam*. Dental Materials Journal, 1999. **15**(318-322).
166. RS, S., et al., *Avaliação do sistema de forças gerado pela alça T de retração pré-ativada segundo o padrão UNESP-Araraquara*. Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial 2003. **8**: p. 113-122.

167. Hoenigl, K., et al., *The centered T-Loop – a new way of preactivation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1995. **108**: p. 149-153.
168. CJ, B., S. E, and H. KJ, *A moderna mecânica edgewise e a técnica do arco segmentado*. 1ª ed. 2003: Livraria Santos Editora Ltda.
169. Gjessing, P., *A universal retraction spring*. J Clin Orthod, 1994. **18**: p. 222-242.
170. Ferreira, M., et al., *Experimental force definition system for a new orthodontic retraction spring*. Angle Orthod, 2005. **75**: p. 334-343.
171. Ricketts, R., *Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1976. **70**: p. 359-397.
172. Kao, C.-T. and T.-H. Huang, *Variations in surface characteristics and corrosion behaviour of metal brackets and wires in different electrolyte solutions* European Journal of Orthodontics, 2010. **32**: p. 555-560.
173. DJ, A., D. T, and B. R, *The distribution of oral mucosal pH values in healthy saliva secretors*. Oral Dis., 2006. **12(4)**: p. 420-423.
174. Izquierdo, P.P., et al., *Martensitic transformation of austenitic stainless steel orthodontic wires during intraoral exposure*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. **138(6)**: p. 714e1-714e5.
175. SRH, K., et al., *Effect of fluoride prophylactic agents on the mechanical properties of nickel-titanium wires: an in vitro study*. J Ind Orthod Soc 2011. **45(4)**: p. 237-242.
176. P, P., K. SS, and S. AJ, *An Evaluation and Comparison of Composition and Surface Characteristics of Different Orthodontic Wires – Energy Dispersing Spectrometry and SEM Study*. International Journal of Recent Trends in Science And Technology, 2014. **10(2)**: p. 233-238.

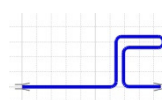
Anexos

Anexos





Mola T – pré-activação 0º



Mola L – pré-activação 0º



Mola T – pré-activação 20º



Mola L – pré-activação 20º



Mola T – pré-activação 40º



Mola L – pré-activação 40º



Mola T – pré-activação 20ºº



Mola L – pré-activação 20ºº



Mola T – pré-activação 40ºº



Mola L – pré-activação 40ºº

Tabela A1-anexo 3 –Valores médios (M) e respetivos desvios padrão (SD) para a força em (g).

activation (mm)		Preactivation											
		0º		20º		40º		20ºº		40ºº		Total	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1,0	TMA	5.28	.32	8.77	.53	9.00	.29	16.16	2.24	12.76	.75	10.39	3.91
	Steel	4.68	.42	9.04	.27	10.28	1.43	24.03	2.87	18.29	1.62	13.26	7.19
	Total	4.98	.48	8.90 ^a	.43	9.64 ^a	1.20	20.09	4.75	15.53	3.09	11.83	5.94
1,5	TMA	5.65	.25	8.37	.40	8.56	.17	12.57	.74	11.65	.48	9.36	2.55
	Steel	5.07	.30	8.42	.21	9.31	.50	15.38	1.03	15.35	1.19	10.71	4.16
	Total	5.36	.40	8.39 ^b	.31	8.93	.53 ^b	13.97 ^c	1.69	13.50 ^c	2.09	10.03	3.50
2,0	TMA	5.86	.22	8.00	.45	8.27	.17	10.42	.57	10.65	.30	8.64	1.81
	Steel	5.27	.22	7.82	.16	8.51	.16	12.83	.58	13.35	.86	9.56	3.15
	Total	5.56	.37	7.91	.34	8.39	.20	11.63 ^d	1.36	12.00 ^d	1.52	9.10	2.60
2,5	TMA	6.01	.19	7.74	.33	8.11	.16	9.55	.45	10.19	.28	8.32	1.51
	Steel	5.42	.17	7.55	.13	.	.	11.56	.45	12.14	.80	9.17	2.87
	Total	5.72	.35	7.65	.26	8.11	.16	10.55	1.12	11.17	1.16	8.70	2.24
3,0	TMA	6.12	.17	7.57	.28	7.98	.17	9.07	.38	9.75	.20	8.09	1.29
	Steel	5.55	.14	7.35	.10	.	.	10.44	.33	11.14	.71	8.62	2.34
	Total	5.83	.33	7.46	.23	7.98	.17	9.75	.78	10.44	.88	8.33	1.84
3,5	TMA	6.15	.18	7.44	.25	7.85	.15	8.74	.37	9.37	.16	7.91	1.14
	Steel	5.57	.09	.	.	.	.	9.86	.33	10.52	.65	8.65	2.27
	Total	5.86	.33	7.44	.25	7.85	.15	9.30	.67	9.95	.75	8.19	1.68
4,0	TMA	6.24	.17	7.37	.20	7.82	.15	8.49	.36	9.18	.13	7.82	1.03
	Steel	.	.	.	.	.	.	9.28	.23	.	.	9.28	.23
	Total	6.24	.17	7.37	.20	7.82	.15	8.88	.50	9.18	.13	8.06	1.09
4,5	TMA	6.30	.20	7.31	.18	7.74	.14	8.29	.33	8.93	.12	7.72	.92
	Steel	.	.	.	.	.	.	8.96	.25	.	.	8.96	.25
	Total	6.30	.20	7.31	.18	7.74	.14	8.63	.45	8.93	.12	7.92	.97
5,0	TMA	6.32	.17	7.26	.15	.	.	8.19	.30	8.72	.33	7.62	.96
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.32	.17	7.26	.15	.	.	8.19	.30	8.72	.33	7.62	.96
5,5	TMA	6.39	.17	7.22	.13	.	.	8.07	.29	8.67	.09	7.59	.89
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.39	.17	7.22	.13	.	.	8.07	.29	8.67	.09	7.59	.89
6,0	TMA	6.43	.19	.	.	.	.	7.95	.28	8.44	.13	7.60	.90
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.43	.19	.	.	.	.	7.95	.28	8.44	.13	7.60	.90

Tabela A2-anexo3 –Valores médios (M) e respectivos desvios padrão (SD) para a proporção M/F em (mm).

activation (mm)		Preactivation											
		0º		20º		40º		20ºº		40ºº		Total	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1,0	TMA	5.28	.32	8.77	.53	9.00	.29	16.16	2.24	12.76	.75	10.39	3.91
	Steel	4.68	.42	9.04	.27	10.28	1.43	24.03	2.87	18.29	1.62	13.26	7.19
	Total	4.98	.48	8.90 ^a	.43	9.64 ^a	1.20	20.09	4.75	15.53	3.09	11.83	5.94
1,5	TMA	5.65	.25	8.37	.40	8.56	.17	12.57	.74	11.65	.48	9.36	2.55
	Steel	5.07	.30	8.42	.21	9.31	.50	15.38	1.03	15.35	1.19	10.71	4.16
	Total	5.36	.40	8.39 ^b	.31	8.93	.53 ^b	13.97 ^c	1.69	13.50 ^c	2.09	10.03	3.50
2,0	TMA	5.86	.22	8.00	.45	8.27	.17	10.42	.57	10.65	.30	8.64	1.81
	Steel	5.27	.22	7.82	.16	8.51	.16	12.83	.58	13.35	.86	9.56	3.15
	Total	5.56	.37	7.91	.34	8.39	.20	11.63 ^d	1.36	12.00 ^d	1.52	9.10	2.60
2,5	TMA	6.01	.19	7.74	.33	8.11	.16	9.55	.45	10.19	.28	8.32	1.51
	Steel	5.42	.17	7.55	.13	.	.	11.56	.45	12.14	.80	9.17	2.87
	Total	5.72	.35	7.65	.26	8.11	.16	10.55	1.12	11.17	1.16	8.70	2.24
3,0	TMA	6.12	.17	7.57	.28	7.98	.17	9.07	.38	9.75	.20	8.09	1.29
	Steel	5.55	.14	7.35	.10	.	.	10.44	.33	11.14	.71	8.62	2.34
	Total	5.83	.33	7.46	.23	7.98	.17	9.75	.78	10.44	.88	8.33	1.84
3,5	TMA	6.15	.18	7.44	.25	7.85	.15	8.74	.37	9.37	.16	7.91	1.14
	Steel	5.57	.09	.	.	.	.	9.86	.33	10.52	.65	8.65	2.27
	Total	5.86	.33	7.44	.25	7.85	.15	9.30	.67	9.95	.75	8.19	1.68
4,0	TMA	6.24	.17	7.37	.20	7.82	.15	8.49	.36	9.18	.13	7.82	1.03
	Steel	.	.	.	.	.	.	9.28	.23	.	.	9.28	.23
	Total	6.24	.17	7.37	.20	7.82	.15	8.88	.50	9.18	.13	8.06	1.09
4,5	TMA	6.30	.20	7.31	.18	7.74	.14	8.29	.33	8.93	.12	7.72	.92
	Steel	.	.	.	.	.	.	8.96	.25	.	.	8.96	.25
	Total	6.30	.20	7.31	.18	7.74	.14	8.63	.45	8.93	.12	7.92	.97
5,0	TMA	6.32	.17	7.26	.15	.	.	8.19	.30	8.72	.33	7.62	.96
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.32	.17	7.26	.15	.	.	8.19	.30	8.72	.33	7.62	.96
5,5	TMA	6.39	.17	7.22	.13	.	.	8.07	.29	8.67	.09	7.59	.89
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.39	.17	7.22	.13	.	.	8.07	.29	8.67	.09	7.59	.89
6,0	TMA	6.43	.19	.	.	.	.	7.95	.28	8.44	.13	7.60	.90
	Steel	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Total	6.43	.19	.	.	.	.	7.95	.28	8.44	.13	7.60	.90

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.959	0.299	0.976	0.714	0.984	0.915
1.5	0.888	0.004	0.942	0.100	0.925	0.035
2.0	0.825	0.000	0.973	0.613	0.944	0.119
2.5	0.874	0.002	0.923	0.032	0.936	0.072
3.0	0.903	0.010	0.958	0.282	0.568	0.000
3.5	0.975	0.673	0.870	0.002	0.964	0.383

Quadro A3-anexo3 - Teste de Normalidade das Diferenças da Força (Aço) – pH4

Ativação Inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	10.1	0.000	16.9	0.000	25.5	0.000
1.5	465.0	0.000	10.0	0.000	465.0	0.000
2.0	426.5	0.000	13.2	0.000	27.3	0.000
2.5	435.0	0.000	465.0	0.000	26.7	0.000
3.0	465.0	0.000	16.3	0.000	458.0	0.000
3.5	12.9	0.000	465.0	0.000	28.5	0.000

Quadro A4-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Força (Aço) – pH4

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	95.0	136.3	183.3	229.9	273.9	324.5
Desv. pad.	1.04	5.20	3.89	4.34	6.37	3.05
Valor final						
Média	93.1	134.9	182.4	228.5	272.3	322.1
Desv. pad.	1.36	5.19	3.99	4.04	6.13	3.13
Diferença						
Média	1.89	1.41	0.90	1.40	1.65	2.40
Desv. pad.	1.03	1.12	0.96	1.12	1.19	1.02
3 meses						
Valor inicial						
Média	97.3	137.9	182.4	225.4	268.6	314.4
Desv. pad.	1.56	6.3	4.51	4.62	6.68	4.22
Valor final						
Média	92.9	134.5	179.1	222.0	264.8	310.0
Desv. pad.	1.41	5.6	4.70	4.05	6.34	4.72
Diferença						
Média	4.45	3.39	3.34	3.40	3.83	4.44
Desv. pad.	1.44	1.85	1.39	1.35	1.29	1.47
5 meses						
Valor inicial						
Média	93.8	135.8	178.1	222.7	266.3	311.4
Desv. pad.	2.09	7.10	4.48	5.96	8.59	3.69
Valor final						
Média	85.6	127.6	169.3	212.2	256.1	300.3
Desv. pad.	2.87	7.64	4.89	5.75	8.71	3.81
Diferença						
Média	8.15	8.20	8.73	10.48	10.23	11.07
Desv. pad.	1.75	1.66	1.75	2.15	4.08	2.12

Quadro A5-anexo 3- Medidas Descritivas da Força (Aço) – pH4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.957	0.261	0.957	0.255	0.973	0.613
1.5	0.920	0.028	0.911	0.016	0.983	0.898
2.0	0.969	0.510	0.959	0.283	0.937	0.076
2.5	0.955	0.224	0.974	0.652	0.947	0.137
3.0	0.966	0.424	0.921	0.029	0.981	0.849
3.5	0.951	0.181	0.947	0.138	0.958	0.282

Quadro A6-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento (Aço) – pH4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	3.1	0.002	10.3	0.000	9.5	0.000
1.5	194.0	0.217	369.0	0.001	5.9	0.000
2.0	-7.2	0.000	0.4	0.331	5.5	0.000
2.5	-11.1	0.000	-0.2	0.416	5.7	0.000
3.0	-9.1	0.000	232.0	0.509	5.7	0.000
3.5	-9.9	0.000	-0.6	0.288	11.6	0.000

Quadro A7-anexo3 -Teste da Significância das Diferenças do Momento (Aço) – PH4

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	424.1	617.1	826.0	1041.8	1257.9	1508.8
Desv. pad.	34.2	43.0	37.4	39.6	42.9	44.7
Valor final						
Média	405.4	617.4	860.1	1096.2	1306.1	1567.0
Desv. pad.	41.0	46.1	46.0	43.8	54.8	54.9
Diferença						
Média	18.7	-0.39	-34.1	-54.4	-48.2	-58.1
Desv. pad.	33.4	28.0	25.9	27.0	29.0	32.2
3 meses						
Valor inicial						
Média	541.4	745.4	969.8	1201.9	1436.7	1684.1
Desv. pad.	65.0	77.6	77.0	80.5	88.5	81.3
Valor final						
Média	484.3	718.1	966.5	1203.1	1433.4	1687.8
Desv. pad.	68.5	84.5	83.6	74.9	92.5	74.9
Diferença						
Média	57.1	27.3	3.27	-1.22	3.3	-3.69
Desv. pad.	30.4	36.2	40.4	31.4	35.9	35.8
5 meses						
Valor inicial						
Média	480.7	698.6	915.5	1145.2	1380.5	1626.4
Desv. pad.	50.2	56.2	55.9	55.1	62.2	55.7
Valor final						
Média	443.0	672.8	888.5	1109.8	1333.9	1564.0
Desv. pad.	49.8	59.3	55.0	57.9	67.0	53.4
Diferença						
Média	37.7	25.8	27.0	35.4	46.5	62.4
Desv. pad.	21.7	23.7	27.0	33.8	29.4	29.4

Quadro A8-anexo3 -Medidas Descritivas do Momento (Aço) – pH4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.958	0.276	0.923	0.032	0.977	0.753
1.5	0.922	0.031	0.919	0.026	0.962	0.354
2.0	0.977	0.748	0.964	0.386	0.823	0.000
2.5	0.959	0.300	0.981	0.842	0.926	0.038
3.0	0.976	0.723	0.904	0.011	0.881	0.003
3.5	0.954	0.211	0.955	0.224	0.985	0.933

Quadro A9-anexo3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força (Aço) – pH4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	1.8	0.081	452	0.000	-1.3	0.197
1.5	140	0.058	290	0.241	-4.3	0.000
2.0	-8.3	0.000	-2.1	0.041	76	0.001
2.5	-12.5	0.000	-3.5	0.001	101	0.007
3.0	-11.2	0.000	134	0.044	150	0.092
3.5	-12.4	0.000	-4.1	0.000	0.84	0.410

Quadro A10-anexo3- Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força (Aço) – PH4

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6
Desv. pad.	0.35	0.27	0.19	0.17	0.15	0.14
Valor final						
Média	4.4	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9
Desv. pad.	0.43	0.29	0.22	0.18	0.16	0.17
Diferença						
Média	0.11	-0.05	-0.21	-0.27	-0.20	-0.22
Desv. pad.	0.33	0.19	0.14	0.12	0.10	0.10
3 meses						
Valor inicial						
Média	5.6	5.4	5.3	5.3	5.3	5.4
Desv. pad.	0.63	0.48	0.40	0.36	0.32	0.29
Valor final						
Média	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4
Desv. pad.	0.71	0.40	0.44	0.36	0.34	0.28
Diferença						
Média	0.35	-0.08	-0.08	-0.09	-0.06	-0.09
Desv. pad.	0.28	0.21	0.21	0.14	0.15	0.12
5 meses						
Valor inicial						
Média	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2
Desv. pad.	0.49	0.35	0.28	0.25	0.23	0.20
Valor final						
Média	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2
Desv. pad.	0.55	0.36	0.30	0.26	0.21	0.19
Diferença						
Média	-0.05	-0.13	-0.11	-0.09	-0.02	0.02
Desv. pad.	0.21	0.16	0.15	0.17	0.15	0.10

Quadro A11-anexo3- Medidas Descritivas do Momento/Força (Aço) – pH4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.970	0.527	0.870	0.000	0.940	0.091
1.5	0.954	0.211	0.944	0.118	0.952	0.195
2.0	0.978	0.772	0.924	0.034	0.934	0.063
2.5	0.963	0.372	0.949	0.158	0.952	0.190
3.0	0.938	0.080	0.918	0.024	0.960	0.312
3.5	0.984	0.922	0.960	0.312	0.959	0.299

Quadro A12-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças da Força (Aço) – pH 6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	16.8	0.000	465.0	0.000	27.1	0.000
1.5	14.6	0.000	40.0	0.000	30.5	0.000
2.0	16.0	0.000	465.0	0.000	32.7	0.000
2.5	13.3	0.000	34.7	0.000	30.6	0.000
3.0	15.0	0.000	465.0	0.000	32.4	0.000
3.5	19.5	0.000	47.1	0.000	46.5	0.000

Quadro A13-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Força (Aço) – pH 6.75

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	95.5	137.0	184.2	230.7	275.5	325.4
Desv. pad.	1.40	5.40	4.86	3.64	6.76	2.50
Valor final						
Média	92.8	134.4	181.1	227.0	271.5	320.6
Desv. pad.	1.05	5.47	4.59	3.40	6.40	2.97
Diferença						
Média	2.68	2.60	3.05	3.77	3.95	4.86
Desv. pad.	0.87	0.97	1.04	1.55	1.45	1.37
3 meses						
Valor inicial						
Média	93.6	137.0	183.9	225.5	274.7	317.9
Desv. pad.	2.12	6.19	4.40	3.63	7.45	3.5
Valor final						
Média	84.1	128.4	174.7	215.6	264.1	307.4
Desv. pad.	2.39	6.29	4.12	3.19	7.12	3.60
Diferença						
Média	9.42	8.59	9.29	9.94	10.6	10.5
Desv. pad.	1.07	1.18	1.01	1.57	1.48	1.22
5 meses						
Valor inicial						
Média	94.3	136.6	180.4	226.1	270.1	317.0
Desv. pad.	1.80	6.75	5.47	4.78	7.98	3.93
Valor final						
Média	85.9	127.6	171.0	215.4	259.1	305.8
Desv. pad.	3.35	7.67	5.82	5.27	8.69	4.23
Diferença						
Média	8.45	9.02	9.38	10.65	11.01	11.15
Desv. pad.	1.71	1.62	1.57	1.91	1.86	1.31

Quadro A14-anexo 3 - Medidas Descritivas da Força (Aço) – pH 6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.976	0.714	0.964	0.391	0.901	0.009
1.5	0.963	0.368	0.957	0.264	0.972	0.607
2.0	0.958	0.274	0.934	0.062	0.973	0.624
2.5	0.970	0.520	0.960	0.303	0.968	0.489
3.0	0.928	0.044	0.873	0.002	0.950	0.170
3.5	0.984	0.915	0.854	0.001	0.927	0.042

Quadro A15-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento (Aço) – pH 6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	2.7	0.007	10.5	0.000	465.0	0.000
1.5	-2.6	0.008	5.6	0.000	11.7	0.000
2.0	-7.7	0.000	3.2	0.002	10.2	0.000
2.5	-7.5	0.000	4.8	0.000	9.7	0.000
3.0	42.0	0.000	325.0	0.029	12.3	0.000
3.5	-2.0	0.027	340.0	0.987	465.0	0.000

Quadro A16-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento (Aço) – pH 6.75

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	426.7	618.3	824.0	1043.1	1267.8	1517.0
Desv. pad.	21.6	32.4	37.0	31.4	42.7	32.7
Valor final						
Média	418.3	629.3	863.3	1092.2	1295.1	1527.8
Desv. pad.	25.1	35.9	35.9	29.8	36.7	33.2
Diferença						
Média	8.4	-11.0	-39.2	-49.1	-27.2	-10.7
Desv. pad.	17.3	23.2	27.7	36.0	29.1	29.2
3 meses						
Valor inicial						
Média	437.5	659.6	898.7	1114.6	1365.7	1602.5
Desv. pad.	43.2	56.1	53.1	50.7	62.0	50.6
Valor final						
Média	394.9	630.2	877.3	1081.4	1346.9	1582.0
Desv. pad.	40.6	50.4	48.3	43.6	70.0	53.0
Diferença						
Média	42.6	29.4	21.4	33.2	18.8	20.6
Desv. pad.	22.1	28.6	36.8	38.2	47.2	53.4
5 meses						
Valor inicial						
Média	446.4	662.3	889.8	1128.2	1355.2	1599.6
Desv. pad.	43.4	52.9	48.7	49.4	55.1	47.7
Valor final						
Média	414.5	636.4	853.4	1077.6	1287.4	1520.2
Desv. pad.	46.6	58.3	46.3	55.3	57.6	51.6
Diferença						
Média	31.9	29.9	36.4	50.6	67.8	79.3
Desv. pad.	13.4	14.0	19.6	28.5	30.1	36.6

Quadro A17-anexo 3- Medidas Descritivas do Momento (Aço) – pH 6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.972	0.608	0.979	0.159	0.930	0.049
1.5	0.957	0.264	0.955	0.223	0.947	0.139
2.0	0.958	0.273	0.923	0.031	0.964	0.384
2.5	0.967	0.462	0.943	0.024	0.969	0.504
3.0	0.943	0.110	0.876	0.002	0.939	0.083
3.5	0.972	0.606	0.868	0.001	0.937	0.077

Quadro A18-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força (Aço) – Ph6.75

Ativação Inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-1.1	0.263	-0.44	0.664	105	0.009
1.5	-6.1	0.000	-2.7	0.012	-6.7	0.000
2.0	-10.9	0.000	81	0.002	-3.0	0.005
2.5	-11.0	0.000	126	0.029	-0.48	0.637
3.0	-8.4	0.000	91	0.004	2.3	0.032
3.5	-6.3	0.000	101	0.007	3.6	0.001

Quadro A19-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força (Aço) – Ph6.75

	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
1 mês						
Valor inicial						
Média	4.5	4.5	4.5	4.5	4.6	4.7
Desv. pad.	0.24	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12
Valor final						
Média	4.5	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8
Desv. pad.	0.27	0.18	0.15	0.13	0.13	0.12
Diferença						
Média	-0.04	-0.17	-0.29	-0.29	-0.17	-0.10
Desv. pad.	0.18	0.15	0.15	0.14	0.11	0.09
3 meses						
Valor inicial						
Média	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0
Desv. pad.	0.39	0.28	0.26	0.20	0.19	0.17
Valor final						
Média	4.7	4.9	5.0	5.0	5.1	5.15
Desv. pad.	0.40	0.26	0.22	0.21	0.21	0.19
Diferença						
Média	-0.02	-0.09	-0.14	-0.07	-0.13	-0.11
Desv. pad.	0.22	0.19	0.20	0.17	0.18	0.17
5 meses						
Valor inicial						
Média	4.7	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0
Desv. pad.	0.42	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17
Valor final						
Média	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Desv. pad.	0.45	0.31	0.23	0.21	0.21	0.18
Diferença						
Média	-0.09	-0.11	-0.06	-0.01	0.05	0.08
Desv. pad.	0.15	0.09	0.10	0.12	0.12	0.11

Quadro A20-anexo 3 - Medidas Descritivas do Momento/Força (Aço) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.980	0.814	0.936	0.071	0.983	0.887
1.5	0.942	0.104	0.967	0.465	0.968	0.480
2.0	0.970	0.525	0.958	0.279	0.946	0.134
2.5	0.973	0.617	0.983	0.906	0.952	0.191
3.0	0.948	0.148	0.972	0.581	0.937	0.076
3.5	0.957	0.257	0.968	0.492	0.946	0.128
4.0	0.960	0.312	0.970	0.548	0.939	0.085
4.5	0.882	0.003	0.940	0.093	0.958	0.282
5.0	0.832	0.000	0.922	0.030	0.902	0.009

Quadro A21-anexo 3 -Teste de Normalidade das Diferenças da Força (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	10.7	0.000	28.8	0.000	47.6	0.000
1.5	10.2	0.000	30.3	0.000	35.7	0.000
2.0	10.2	0.000	30.5	0.000	28.9	0.000
2.5	7.6	0.000	26.4	0.000	25.7	0.000
3.0	7.2	0.000	26.5	0.000	24.5	0.000
3.5	5.7	0.000	16.2	0.000	20.5	0.000
4.0	5.3	0.000	14.2	0.000	15.4	0.000
4.5	406.0	0.000	10.7	0.000	15.4	0.000
5.0	435.0	0.000	465.0	0.000	465.0	0.000

Quadro A22-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças da Força (TMA) – Ph4

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	49.7	76.9	108.1	136.5	167.5	196.9	226.0	256.6	284.3
Desv. pad.	1.26	3.30	2.97	4.20	4.60	4.62	5.89	6.08	6.77
Valor final									
Média	46.6	74.2	105.5	134.6	166.1	195.7	224.8	255.7	283.6
Desv. pad.	2.14	3.43	3.31	4.39	4.83	4.84	6.14	6.15	6.87
Diferença									
Média	3.07	2.65	2.56	1.95	1.47	1.18	1.15	0.90	0.76
Desv. pad.	1.58	1.43	1.38	1.40	1.13	1.14	1.18	0.80	0.71
3 meses									
Valor inicial									
Média	48.6	75.7	103.7	133.4	159.2	190.5	216.7	245.3	274.5
Desv. pad.	1.71	4.33	2.89	4.34	4.84	4.89	6.90	6.62	8.23
Valor final									
Média	39.2	67.0	95.6	125.9	152.3	184.9	211.6	241.2	270.9
Desv. pad.	2.06	4.01	3.28	4.30	4.80	5.13	6.74	6.58	8.24
Diferença									
Média	9.41	8.75	8.07	7.51	6.95	5.67	5.08	4.10	3.64
Desv. pad.	1.73	1.58	1.45	1.56	1.44	1.92	1.96	2.10	1.77
5 meses									
Valor inicial									
Média	49.2	76.4	104.5	134.7	160.5	192.1	218.1	246.9	276.6
Desv. pad.	1.48	2.86	2.47	3.90	3.67	4.70	5.00	5.47	7.10
Valor final									
Média	39.0	67.4	96.8	127.6	153.6	185.6	212.3	241.2	271.5
Desv. pad.	1.63	2.55	2.62	3.87	3.73	4.36	4.46	4.73	6.30
Diferença									
Média	10.2	9.03	7.68	7.10	6.87	6.50	5.79	5.67	5.06
Desv. pad.	1.17	1.38	1.45	1.51	1.54	1.73	2.06	2.01	2.00

Quadro A23-anexo 3- Medidas Descritivas da Força (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.972	0.589	0.969	0.520	0.969	0.516
1.5	0.970	0.546	0.981	0.861	0.952	0.194
2.0	0.978	0.756	0.930	0.049	0.949	0.158
2.5	0.951	0.183	0.968	0.488	0.962	0.342
3.0	0.982	0.877	0.966	0.432	0.929	0.045
3.5	0.985	0.943	0.963	0.357	0.963	0.370
4.0	0.965	0.410	0.979	0.786	0.978	0.758
4.5	0.982	0.883	0.984	0.913	0.963	0.363
5.0	0.969	0.506	0.969	0.513	0.971	0.563

Quadro A24-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	6.3	0.000	16.6	0.000	29.1	0.000
1.5	5.4	0.000	17.1	0.000	23.7	0.000
2.0	6.5	0.000	465.0	0.000	13.2	0.000
2.5	5.4	0.000	22.1	0.000	8.9	0.000
3.0	7.2	0.000	19.9	0.000	465.0	0.000
3.5	7.6	0.000	21.9	0.000	7.4	0.000
4.0	10.6	0.000	19.1	0.000	9.3	0.000
4.5	8.8	0.000	17.1	0.000	11.7	0.000
5.0	5.2	0.000	14.5	0.000	11.9	0.000

Quadro A25-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento (TMA) – Ph4

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	271.7	427.5	595.0	744.7	907.8	1069.2	1230.4	1399.6	1560.9
Desv. pad.	22.0	25.5	28.1	32.6	27.5	29.3	29.2	31.8	39.3
Valor final									
Média	256.5	412.1	575.2	726.6	889.1	1050.0	1205.9	1378.9	1545.0
Desv. pad.	23.1	26.5	27.9	33.8	27.3	31.5	30.3	35.4	38.3
Diferença									
Média	15.2	15.4	19.7	18.1	18.7	19.3	24.6	20.7	16.0
Desv. pad.	13.1	15.6	16.6	18.4	14.3	13.9	12.6	12.8	17.0
3 meses									
Valor inicial									
Média	298.3	460.4	620.4	788.4	935.3	1110.9	1272.4	1442.0	1621.5
Desv. pad.	20.3	30.6	22.2	25.6	25.1	25.5	29.0	33.9	38.6
Valor final									
Média	239.2	403.6	561.9	728.8	872.0	1047.4	1208.8	1381.3	1566.0
Desv. pad.	25.8	30.9	26.1	24.8	30.3	27.1	33.1	38.6	39.2
Diferença									
Média	59.1	56.8	58.5	59.5	63.3	63.5	63.5	60.7	55.5
Desv. pad.	19.5	18.2	17.7	14.7	17.4	15.9	18.2	19.5	21.0
5 meses									
Valor inicial									
Média	302.3	465.5	623.6	792.1	937.7	1113.0	1272.8	1438.9	1618.5
Desv. pad.	20.7	35.2	25.1	29.1	32.4	27.1	31.8	31.8	42.5
Valor final									
Média	238.1	408.7	579.9	755.2	896.9	1077.2	1229.8	1392.4	1568.4
Desv. pad.	21.4	32.0	22.8	28.2	31.2	27.9	33.3	29.3	33.6
Diferença									
Média	64.2	56.8	43.6	37.0	40.8	35.8	43.0	46.5	50.0
Desv. pad.	12.1	13.1	18.0	22.7	20.3	26.5	25.4	21.3	23.1

Quadro A26-anexo 3- Medidas Descritivas do Momento (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.971	0.554	0.977	0.749	0.967	0.467
1.5	0.984	0.925	0.982	0.873	0.928	0.044
2.0	0.964	0.387	0.994	0.002	0.958	0.267
2.5	0.949	0.160	0.973	0.635	0.945	0.125
3.0	0.964	0.387	0.984	0.923	0.947	0.141
3.5	0.978	0.765	0.964	0.391	0.961	0.329
4.0	0.964	0.399	0.946	0.129	0.960	0.314
4.5	0.961	0.336	0.967	0.450	0.973	0.614
5.0	0.951	0.185	0.971	0.578	0.970	0.545

Quadro A27-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-0.98	0.333	0.77	0.445	0.98	0.334
1.5	0.36	0.722	1.7	0.091	2.97	0.188
2.0	2.0	0.049	3.5	0.002	-0.91	0.371
2.5	2.5	0.017	6.2	0.000	-1.4	0.181
3.0	4.3	0.000	6.8	0.000	0.21	0.837
3.5	5.5	0.000	12.3	0.000	-0.36	0.722
4.0	8.1	0.000	11.2	0.000	2.1	0.042
4.5	7.0	0.000	11.9	0.000	3.5	0.001
5.0	3.8	0.001	11.6	0.000	5.9	0.000

Quadro A28-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força (TMA) – Ph4

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5
Desv. pad.	0.38	0.27	0.22	0.20	0.17	0.14	0.15	0.14	0.14
Valor final									
Média	5.5	5.6	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Desv. pad.	0.39	0.27	0.23	0.21	0.18	0.15	0.15	0.13	0.13
Diferença									
Média	-0.03	0.01	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.06	0.04
Desv. pad.	0.19	0.14	0.14	0.12	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06
3 meses									
Valor inicial									
Média	6.1	6.1	6.0	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9
Desv. pad.	0.37	0.26	0.19	0.19	0.16	0.14	0.15	0.13	0.15
Valor final									
Média	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8
Desv. pad.	0.46	0.29	0.23	0.19	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17
Diferença									
Média	0.05	0.06	0.11	0.12	0.15	0.16	0.16	0.15	0.12
Desv. pad.	0.32	0.17	0.17	0.11	0.12	0.07	0.08	0.07	0.06
5 meses									
Valor inicial									
Média	6.1	6.1	6.0	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9
Desv. pad.	0.36	0.31	0.21	0.20	0.17	0.18	0.14	0.14	0.13
Valor final									
Média	6.1	6.1	6.0	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Desv. pad.	0.46	0.31	0.22	0.18	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12
Diferença									
Média	0.05	0.03	-0.02	-0.04	0.004	-0.01	0.04	0.06	0.08
Desv. pad.	0.25	0.17	0.14	0.15	0.11	0.14	0.11	0.09	0.07

Quadro A29-anexo 3- Medidas Descritivas do Momento/Força (TMA) – Ph4

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.978	0.764	0.975	0.670	0.967	0.467
1.5	0.948	0.151	0.927	0.042	0.948	0.145
2.0	0.972	0.598	0.953	0.199	0.977	0.731
2.5	0.973	0.623	0.976	0.702	0.934	0.064
3.0	0.983	0.901	0.956	0.244	0.938	0.081
3.5	0.913	0.018	0.895	0.006	0.948	0.149
4.0	0.945	0.126	0.957	0.264	0.933	0.060
4.5	0.902	0.009	0.894	0.006	0.965	0.420
5.0	0.909	0.015	0.961	0.333	0.871	0.002

Quadro A30-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças da Força (TMA) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	12.7	0.000	28.2	0.000	24.3	0.000
1.5	13.6	0.000	465.0	0.000	23.8	0.000
2.0	12.8	0.000	23.7	0.000	22.1	0.000
2.5	10.8	0.000	24.8	0.000	19.2	0.000
3.0	11.5	0.000	20.8	0.000	18.2	0.000
3.5	462.0	0.000	465.0	0.000	15.7	0.000
4.0	6.1	0.000	21.2	0.000	16.3	0.000
4.5	372.0	0.000	465.0	0.000	13.6	0.000
5.0	317.0	0.000	17.3	0.000	465.0	0.000

Quadro A31-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Força (TMA) – Ph6.75

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	50.2	80.0	109.5	140.3	169.1	200.7	229.7	259.6	289.6
Desv. pad.	1.63	4.09	2.71	3.83	5.40	5.32	7.11	7.45	8.36
Valor final									
Média	47.0	76.2	106.4	137.7	166.4	198.9	228.2	258.4	288.6
Desv. pad.	2.33	4.17	2.93	3.57	5.50	4.99	7.20	7.38	8.33
Diferença									
Média	3.23	3.80	3.10	2.68	2.62	1.84	1.59	1.14	1.01
Desv. pad.	1.39	1.53	1.33	1.36	1.25	1.54	1.41	1.44	1.28
3 meses									
Valor inicial									
Média	52.0	79.4	106.3	134.2	161.0	189.2	216.9	243.5	271.3
Desv. pad.	2.1	5.72	3.01	4.38	5.25	5.13	7.33	6.86	8.53
Valor final									
Média	45.5	73.8	101.3	129.5	156.6	185.15	213.0	240.3	268.7
Desv. pad.	2.64	5.79	2.90	4.63	4.93	5.49	7.27	6.63	8.56
Diferença									
Média	6.51	5.55	5.04	4.60	4.34	4.09	3.91	3.16	2.55
Desv. pad.	1.27	0.94	1.16	1.02	1.14	1.26	1.01	1.08	0.81
5 meses									
Valor inicial									
Média	52.0	77.5	105.9	132.6	159.8	187.8	213.8	242.0	267.7
Desv. pad.	1.83	3.97	3.57	3.74	5.57	4.73	6.21	6.99	7.03
Valor final									
Média	45.1	70.9	99.8	127.2	154.9	183.3	209.7	238.4	264.7
Desv. pad.	2.63	3.87	3.89	4.04	5.96	4.89	6.50	7.19	7.08
Diferença									
Média	6.97	6.62	6.12	5.4	4.89	4.47	4.04	3.64	2.99
Desv. pad.	1.57	1.52	1.52	1.54	1.47	1.56	1.36	1.47	1.48

Quadro A32-anexo 3- Medidas Descritivas da Força (TMA) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.978	0.758	0.988	0.971	0.915	0.020
1.5	0.981	0.846	0.977	0.735	0.961	0.336
2.0	0.933	0.059	0.263	0.000	0.287	0.000
2.5	0.982	0.874	0.957	0.255	0.957	0.240
3.0	0.964	0.379	0.959	0.285	0.966	0.438
3.5	0.953	0.206	0.898	0.008	0.975	0.696
4.0	0.972	0.588	0.904	0.010	0.978	0.778
4.5	0.916	0.022	0.940	0.093	0.973	0.615
5.0	0.326	0.000	0.913	0.018	0.976	0.716

Quadro A33-anexo 3-Teste de Normalidade das Diferenças do Momento (TMA) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	9.8	0.000	14.0	0.000	465.0	0.000
1.5	10.5	0.000	12.9	0.000	16.7	0.000
2.0	8.1	0.000	1.9	0.031	435.0	0.000
2.5	7.7	0.000	8.5	0.000	10.4	0.000
3.0	9.3	0.000	10.2	0.000	14.5	0.000
3.5	8.6	0.000	463.0	0.000	14.9	0.000
4.0	9.8	0.000	464.0	0.000	17.6	0.000
4.5	442.0	0.000	17.1	0.000	19.3	0.000
5.0	407.0	0.000	464.0	0.000	19.9	0.000

Quadro A34-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento (TMA) – Ph6.75

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	280.2	451.1	603.4	766.4	918.7	1084.4	1245.3	1410.1	1566.2
Desv. pad.	18.7	31.7	25.1	28.0	30.1	24.1	35.4	28.1	90.0
Valor final									
Média	255.0	422.7	579.2	739.8	889.7	1057.6	1218.8	1386.6	1562.5
Desv. pad.	21.8	34.4	23.3	27.5	31.3	23.0	32.6	29.1	34.1
Diferença									
Média	25.2	28.4	24.3	26.6	28.9	26.8	26.5	23.5	3.7
Desv. pad.	14.1	14.8	16.3	18.9	17.1	17.2	14.9	16.9	80.2
3 meses									
Valor inicial									
Média	331.1	498.4	681.5	817.4	973.0	1139.2	1307.8	1473.0	1640.6
Desv. pad.	29.8	48.5	131.4	40.3	47.0	39.1	52.7	48.0	53.7
Valor final									
Média	295.1	469.6	630.0	786.9	935.0	1094.3	1258.1	1424.2	1597.7
Desv. pad.	30.1	48.6	37.2	43.4	48.4	40.5	51.5	42.4	50.5
Diferença									
Média	36.0	28.8	51.5	30.5	38.0	45.0	49.7	48.9	42.9
Desv. pad.	14.1	12.2	145.2	19.7	20.3	18.1	14.6	15.7	13.0
5 meses									
Valor inicial									
Média	349.2	509.7	681.5	839.0	1002.5	1170.3	1331.3	1501.6	1668.5
Desv. pad.	24.8	28.4	25.3	37.3	29.6	31.6	29.7	32.5	34.8
Valor final									
Média	297.0	454.6	653.4	777.5	934.8	1101.4	1260.6	1434.1	1603.4
Desv. pad.	25.0	30.7	185.8	34.9	33.1	31.6	32.2	32.1	35.0
Diferença									
Média	52.2	55.1	28.1	61.5	67.7	68.9	70.7	67.5	65.1
Desv. pad.	15.5	18.0	182.2	32.3	25.5	25.3	22.1	19.1	17.9

Quadro A35-anexo 3 - Medidas Descritivas do Momento (TMA) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.982	0.873	0.959	0.295	0.982	0.871
1.5	0.906	0.012	0.990	0.989	0.945	0.121
2.0	0.935	0.066	0.243	0.000	0.266	0.000
2.5	0.984	0.916	0.953	0.204	0.968	0.484
3.0	0.959	0.298	0.971	0.556	0.975	0.677
3.5	0.967	0.459	0.965	0.415	0.979	0.800
4.0	0.955	0.232	0.919	0.025	0.963	0.374
4.5	0.949	0.163	0.963	0.360	0.983	0.887
5.0	0.328	0.001	0.940	0.091	0.964	0.383

Quadro A36-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força (TMA) – Ph6.75

Ativação inicial	Duração					
	1 mês		3 meses		5 meses	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	3.9	0.001	-2.77	0.010	2.6	0.015
1.5	357	0.009	-3.1	0.004	4.4	0.000
2.0	2.6	0.015	133	0.042	414	0.000
2.5	3.7	0.001	0.77	0.446	5.2	0.000
3.0	4.7	0.000	3.6	0.001	7.8	0.000
3.5	4.7	0.000	6.0	0.000	8.4	0.000
4.0	6.5	0.000	458	0.000	10.9	0.000
4.5	5.7	0.000	10.9	0.000	12.0	0.000
5.0	378	0.002	12.3	0.000	13.0	0.000

Quadro A37-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força (TMA) – Ph6.75

	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1 mês									
Valor inicial									
Média	5.6	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Desv. pad.	0.37	0.26	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.18	0.33
Valor final									
Média	5.4	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4
Desv. pad.	0.38	0.29	0.24	0.22	0.21	0.18	0.18	0.16	0.16
Diferença									
Média	0.15	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	-0.01
Desv. pad.	0.22	0.17	0.14	0.13	0.10	0.10	0.07	0.06	0.28
3 meses									
Valor inicial									
Média	6.4	6.3	6.4	6.1	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1
Desv. pad.	0.49	0.36	1.2	0.30	0.28	0.29	0.26	0.27	0.26
Valor final									
Média	6.5	6.4	6.2	6.1	6.0	5.9	5.9	5.9	6.0
Desv. pad.	0.59	0.42	0.37	0.34	0.32	0.31	0.27	0.26	0.26
Diferença									
Média	-0.12	-0.08	0.19	0.02	0.07	0.11	0.12	0.12	0.10
Desv. pad.	0.25	0.15	1.4	0.13	0.11	0.10	0.06	0.06	0.05
5 meses									
Valor inicial									
Média	6.7	6.6	6.4	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2
Desv. pad.	0.40	0.27	0.23	0.28	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18
Valor final									
Média	6.6	6.4	6.5	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1
Desv. pad.	0.46	0.37	1.8	0.27	0.27	0.20	0.21	0.18	0.18
Diferença									
Média	0.12	0.16	-0.11	0.21	0.24	0.22	0.22	0.19	0.18
Desv. pad.	0.25	0.20	1.8	0.23	0.17	0.15	0.11	0.09	0.07

Quadro A38-anexo 3 - Medidas Descritivas do Momento/Força (TMA) – Ph6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.954	0.716	0.955	0.725
1.5	0.970	0.894	0.921	0.370
2.0	0.918	0.336	0.932	0.464
2.5	0.890	0.172	0.935	0.503
3.0	0.940	0.551	0.851	0.059
3.5	0.910	0.281	0.956	0.744
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.981	0.971	0.967	0.863
1.5	0.908	0.265	0.900	0.220
2.0	0.892	0.179	0.984	0.983
2.5	0.839	0.043	0.892	0.181
3.0	0.931	0.455	0.914	0.311
3.5	0.915	0.320	0.982	0.975
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.941	0.561	0.633	0.000
1.5	0.971	0.899	0.884	0.147
2.0	0.967	0.863	0.898	0.208
2.5	0.979	0.962	0.947	0.633
3.0	0.851	0.060	0.953	0.708
3.5	0.931	0.456	0.896	0.197

Quadro A39-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	8.1	0.000	8.0	0.000
1.5	6.4	0.000	4.9	0.000
2.0	10.4	0.000	3.7	0.003
2.5	-0.23	0.827	-9.2	0.000
3.0	-0.28	0.783	-0.84	0.428
3.5	-0.04	0.966	0.38	0.358
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	12.0	0.000	8.7	0.000
1.5	6.9	0.000	11.8	0.000
2.0	8.3	0.000	8.9	0.000
2.5	3.0	0.010	-6.8	0.000
3.0	-7.8	0.000	-5.5	0.000
3.5	-3.3	0.010	-1.8	0.113
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	8.2	0.000	55	0.003
1.5	17.1	0.000	3.7	0.002
2.0	4.6	0.001	3.3	0.005
2.5	-3.6	0.006	-1.0	0.331
3.0	-7.8	0.000	-4.2	0.002
3.5	-5.4	0.000	0.13	0.450

Quadro A40-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	3.8	3.2	3.4	-0.07	-0.14	-0.02
Desv. pad.	1.5	1.6	1.0	1.0	1.6	1.3
22600 ppm						
Média	4.3	1.6	1.2	-1.8	-0.29	0.11
Desv. pad.	1.7	1.0	1.1	0.62	1.1	0.96
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	3.8	3.8	2.5	-2.0	-2.5	-1.5
Desv. pad.	1.0	1.7	0.94	1.6	1.0	1.4
22600 ppm						
Média	2.8	2.3	2.2	-2.4	-1.3	-0.45
Desv. pad.	1.0	0.61	0.78	1.1	0.76	0.80
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	1.6	2.7	1.8	-1.9	-2.5	-1.8
Desv. pad.	0.60	0.50	1.2	1.7	1.0	1.1
22600 ppm						
Média	1.9	1.7	1.6	-0.76	-1.5	0.07
Desv. pad.	1.9	1.5	1.5	2.3	1.1	1.7

Quadro A41-anexo 3- Medidas Descritivas das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.983	0.980	0.939	0.482
1.5	0.919	0.350	0.896	0.141
2.0	0.859	0.074	0.946	0.584
2.5	0.925	0.399	0.924	0.324
3.0	0.928	0.426	0.579	0.000
3.5	0.973	0.919	0.562	0.000
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.955	0.730	0.935	0.502
1.5	0.884	0.145	0.935	0.502
2.0	0.959	0.772	0.855	0.067
2.5	0.948	0.643	0.990	0.997
3.0	0.968	0.873	0.877	0.119
3.5	0.880	0.129	0.584	0.000
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.932	0.463	0.811	0.020
1.5	0.988	0.994	0.967	0.858
2.0	0.989	0.996	0.943	0.587
2.5	0.960	0.789	0.969	0.878
3.0	0.927	0.416	0.868	0.094
3.5	0.931	0.459	0.910	0.279

Quadro A42-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	5.6	0.000	5.6	0.000
1.5	10.6	0.000	3.4	0.003
2.0	8.0	0.000	3.4	0.003
2.5	-0.34	0.740	-3.5	0.005
3.0	-2.4	0.042	26	0.339
3.5	0.67	0.260	22	0.204
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	11.2	0.000	3.1	0.006
1.5	5.9	0.000	6.6	0.000
2.0	6.9	0.000	6.3	0.000
2.5	-0.03	0.974	-3.5	0.007
3.0	-0.30	0.773	-0.98	0.355
3.5	4.0	0.002	34	0.278
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	7.3	0.000	55	0.001
1.5	9.4	0.000	7.1	0.000
2.0	10.2	0.000	5.6	0.000
2.5	-0.37	0.721	1.7	0.064
3.0	-0.89	0.395	0.94	0.369
3.5	-2.6	0.027	1.0	0.171

Quadro A43-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	48.3	33.6	28.6	-1.6	-4.9	1.9
Desv. pad.	27.2	10.0	11.4	14.8	6.6	9.2
22600 ppm						
Média	26.7	13.5	12.1	-12.0	-17.9	-22.9
Desv. pad.	16.6	13.8	12.2	11.8	54.4	63.1
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	62.9	45.6	33.5	-0.20	-0.87	6.7
Desv. pad.	17.7	24.5	15.4	18.7	9.2	5.3
22600 ppm						
Média	19.8	21.5	18.9	-15.3	-4.3	23.8
Desv. pad.	20.0	10.2	9.5	14.0	13.9	76.9
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	21.2	25.8	20.2	-1.8	-3.5	-9.7
Desv. pad.	9.2	8.8	6.3	15.1	12.3	11.6
22600 ppm						
Média	22.5	23.0	21.9	6.4	3.4	4.6
Desv. pad.	18.6	10.4	12.4	12.1	11.4	14.7

Quadro A44-anexo 3 - Medidas Descritivas das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.965	0.843	0.851	0.060
1.5	0.909	0.274	0.925	0.403
2.0	0.917	0.336	0.853	0.063
2.5	0.895	0.191	0.906	0.252
3.0	0.967	0.865	0.571	0.000
3.5	0.886	0.153	0.554	0.000
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.915	0.314	0.933	0.481
1.5	0.941	0.563	0.939	0.547
2.0	0.948	0.645	0.957	0.754
2.5	0.885	0.150	0.960	0.790
3.0	0.998	0.994	0.812	0.020
3.5	0.965	0.840	0.595	0.000
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.948	0.647	0.907	0.263
1.5	0.959	0.776	0.926	0.406
2.0	0.950	0.665	0.923	0.381
2.5	0.908	0.270	0.967	0.866
3.0	0.963	0.817	0.826	0.030
3.5	0.874	0.112	0.965	0.844

Quadro A45-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – Ph4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.5	0.002	2.1	0.062
1.5	5.3	0.000	1.3	0.232
2.0	3.1	0.013	1.4	0.203
2.5	-0.24	0.816	-1.2	0.279
3.0	-1.4	0.202	19	0.432
3.5	0.52	0.615	9	0.064
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	6.8	0.000	0.75	0.473
1.5	4.3	0.002	3.3	0.010
2.0	5.7	0.000	2.4	0.041
2.5	2.9	0.018	-0.49	0.634
3.0	3.8	0.005	30	0.846
3.5	4.9	0.001	35	0.492
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.0	0.003	2.8	0.021
1.5	4.2	0.002	4.3	0.002
2.0	4.5	0.001	4.0	0.003
2.5	3.2	0.012	3.7	0.005
3.0	3.2	0.011	48	0.037
3.5	0.03	0.979	0.95	0.366

Quadro A46-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH4

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.42	0.16	0.08	-0.01	-0.02	0.01
Desv. pad.	0.29	0.10	0.08	0.08	0.04	0.04
22600 ppm						
Média	0.10	0.03	0.03	-0.02	-0.08	-0.10
Desv. pad.	0.15	0.07	0.07	0.06	0.25	0.23
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.56	0.22	0.12	0.05	0.05	0.05
Desv. pad.	0.26	0.16	0.07	0.06	0.04	0.03
22600 ppm						
Média	0.05	0.08	0.04	-0.01	0.01	0.09
Desv. pad.	0.20	0.08	0.06	0.07	0.06	0.27
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.18	0.10	0.07	0.04	0.04	0.00
Desv. pad.	0.14	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03
22600 ppm						
Média	0.10	0.13	0.09	0.05	0.05	0.02
Desv. pad.	0.22	0.10	0.07	0.04	0.05	0.05

Quadro A47-anexo 3 - Medidas Descritivas do Momento/Força (Aço) Após Imersão em Flúor (Aço) – pH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.961	0.798	0.972	0.912
1.5	0.892	0.176	0.884	0.143
2.0	0.979	0.959	0.953	0.704
2.5	0.947	0.537	0.911	0.287
3.0	0.949	0.657	0.970	0.890
3.5	0.928	0.428	0.946	0.618
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.881	0.132	0.905	0.247
1.5	0.786	0.010	0.926	0.413
2.0	0.890	0.167	0.921	0.368
2.5	0.811	0.020	0.952	0.697
3.0	0.952	0.687	0.953	0.699
3.5	0.923	0.385	0.878	0.124
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.933	0.480	0.837	0.041
1.5	0.935	0.500	0.937	0.522
2.0	0.937	0.526	0.945	0.615
2.5	0.951	0.678	0.952	0.696
3.0	0.953	0.698	0.972	0.904
3.5	0.961	0.797	0.943	0.587

Quadro A48-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.8	0.000	7.3	0.000
1.5	3.5	0.004	5.7	0.000
2.0	2.7	0.12	5.0	0.000
2.5	-4.7	0.002	-1.7	0.123
3.0	-2.1	0.063	1.0	0.168
3.5	-1.5	0.176	1.3	0.106
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	6.4	0.000	3.8	0.002
1.5	5.5	0.001	5.9	0.000
2.0	5.0	0.000	4.7	0.001
2.5	1	0.004	-7.2	0.000
3.0	-4.4	0.002	-3.2	0.011
3.5	-1.6	0.154	-1.4	0.210
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.6	0.001	5.5	0.001
1.5	4.4	0.001	3.0	0.008
2.0	-1.7	0.129	1.2	0.127
2.5	-8.4	0.000	-4.1	0.003
3.0	-6.7	0.000	-4.1	0.003
3.5	-6.2	0.000	-2.6	0.028

Quadro A49-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 4

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	3.4	1.9	1.6	-1.5	-1.1	-0.82
Desv. pad.	2.2	1.7	1.9	1.0	1.6	1.8
22600 ppm						
Média	4.1	2.6	2.5	-0.76	0.49	0.60
Desv. pad.	1.8	1.4	1.6	1.4	1.5	1.4
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	1.4	1.6	1.6	-1.7	-1.0	-0.53
Desv. pad.	0.69	1.2	0.98	1.2	0.74	1.1
22600 ppm						
Média	1.7	2.4	1.8	-1.7	-1.7	-0.54
Desv. pad.	1.4	1.3	1.2	0.73	1.6	1.3
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	1.6	0.50	-0.32	-2.6	-1.7	-1.3
Desv. pad.	1.1	0.36	0.61	0.97	0.78	0.66
22600 ppm						
Média	1.3	1.1	0.66	-2.3	-1.6	-0.94
Desv. pad.	1.1	1.1	1.7	1.8	1.3	1.1

Quadro A50-anexo 3 - Medidas Descritivas das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.892	0.178	0.854	0.064
1.5	0.977	0.950	0.882	0.138
2.0	0.965	0.841	0.940	0.550
2.5	0.966	0.849	0.984	0.981
3.0	0.943	0.586	0.968	0.868
3.5	0.947	0.627	0.937	0.524
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.880	0.130	0.907	0.258
1.5	0.964	0.834	0.909	0.274
2.0	0.922	0.377	0.930	0.446
2.5	0.968	0.868	0.938	0.531
3.0	0.829	0.032	0.897	0.200
3.5	0.929	0.440	0.909	0.273
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.966	0.854	0.956	0.649
1.5	0.945	0.608	0.959	0.713
2.0	0.983	0.977	0.965	0.803
2.5	0.982	0.977	0.958	0.685
3.0	0.870	0.100	0.979	0.967
3.5	0.899	0.214	0.943	0.466

Quadro A51-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.9	0.000	3.3	0.004
1.5	4.6	0.001	1.8	0.050
2.0	4.1	0.001	1.7	0.061
2.5	-1.1	0.280	-2.4	0.040
3.0	-0.53	0.608	-0.91	-0.386
3.5	0.54	0.300	0.42	0.341
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	5.2	0.000	5.1	0.000
1.5	4.2	0.001	3.7	0.003
2.0	8.5	0.000	6.7	0.000
2.5	1.8	0.053	1.1	0.150
3.0	54	0.002	0.89	0.198
3.5	4.6	0.001	3.2	0.005
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	5.0	0.000	4.0	0.001
1.5	6.6	0.000	5.6	0.000
2.0	5.1	0.000	3.4	0.002
2.5	0.67	0.260	-2.9	0.012
3.0	2.6	0.015	-0.92	0.376
3.5	3.6	0.003	0.98	0.173

Quadro A52-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	37.2	27.6	18.5	-4.2	-2.2	3.1
Desv. pad.	23.9	18.8	14.1	11.6	13.3	18.1
	22600 ppm					
Média	31.2	14.5	10.9	-14.8	-5.4	2.1
Desv. pad.	29.8	25.1	20.1	19.5	18.8	16.0
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	21.4	18.1	25.6	6.2	15.8	12.9
Desv. pad.	12.9	13.5	9.5	10.9	10.2	8.8
	22600 ppm					
Média	21.7	28.9	26.9	4.2	4.7	15.9
Desv. pad.	13.6	24.8	12.7	12.0	16.6	15.7
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	25.0	17.6	22.4	3.9	13.6	14.9
Desv. pad.	15.9	8.4	14.0	18.2	16.8	13.3
	22600 ppm					
Média	16.1	13.6	9.0	-10.3	-5.1	-5.1
Desv. pad.	15.1	9.1	9.8	13.3	20.7	20.7

Quadro A53-anexo 3- Medidas Descritivas das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.888	0.159	0.791	0.007
1.5	0.941	0.563	0.874	0.088
2.0	0.937	0.518	0.982	0.978
2.5	0.923	0.382	0.957	0.730
3.0	0.933	0.483	0.942	0.543
3.5	0.970	0.895	0.946	0.590
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.893	0.184	0.933	0.483
1.5	0.964	0.829	0.912	0.292
2.0	0.897	0.203	0.919	0.350
2.5	0.979	0.960	0.951	0.679
3.0	0.859	0.075	0.948	0.640
3.5	0.861	0.077	0.911	0.287
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.955	0.729	0.983	0.978
1.5	0.936	0.510	0.857	0.070
2.0	0.950	0.669	0.935	0.497
2.5	0.980	0.966	0.960	0.787
3.0	0.911	0.290	0.936	0.507
3.5	0.975	0.933	0.964	0.827

Quadro A54-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.7	0.001	47	0.240
1.5	4.0	0.003	0.20	0.842
2.0	3.8	0.004	-0.22	0.830
2.5	1.0	0.346	-1.69	0.123
3.0	0.87	0.408	-1.2	0.261
3.5	1.8	0.101	0.32	0.754
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	3.6	0.006	3.5	0.006
1.5	3.3	0.009	2.7	0.026
2.0	8.5	0.000	5.5	0.000
2.5	6.6	0.000	3.7	0.005
3.0	9.0	0.000	3.1	0.013
3.5	5.5	0.000	4.5	0.002
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.4	0.002	2.2	0.051
1.5	5.4	0.000	2.2	0.056
2.0	6.0	0.000	1.7	0.120
2.5	3.6	0.006	0.56	0.591
3.0	4.5	0.001	0.49	0.637
3.5	5.5	0.000	1.9	0.090

Quadro A55-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.29	0.16	0.07	0.01	0.01	0.02
Desv. pad.	0.20	0.12	0.05	0.05	0.04	0.04
	22600 ppm					
Média	0.16	0.01	-0.01	-0.05	-0.03	0.01
Desv. pad.	0.33	0.18	0.12	0.10	0.09	0.07
3 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.21	0.08	0.11	0.08	0.09	0.06
Desv. pad.	0.18	0.08	0.04	0.04	0.03	0.03
	22600 ppm					
Média	0.20	0.15	0.11	0.06	0.05	0.07
Desv. pad.	0.18	0.18	0.07	0.05	0.06	0.05
5 meses						
	Ativação inicial					
	1	1.5	2	2.5	3	3.5
	1500 ppm					
Média	0.26	0.14	0.16	0.09	0.09	0.08
Desv. pad.	0.19	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04
	22600 ppm					
Média	0.14	0.07	0.04	0.01	0.02	0.03
Desv. pad.	0.20	0.11	0.08	0.08	0.10	0.06

Quadro A56-anexo 3- Medidas Descritivas do Momento/Força (Aço) Após Imersão em Flúor (Aço) – pH 6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.943	0.583	0.953	0.707
1.5	0.880	0.131	0.870	0.100
2.0	0.910	0.279	0.990	0.997
2.5	0.869	0.098	0.939	0.537
3.0	0.913	0.301	0.946	0.626
3.5	0.917	0.336	0.881	0.135
4.0	0.946	0.619	0.840	0.044
4.5	0.952	0.694	0.956	0.734
5.0	0.961	0.802	0.916	0.327
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.832	0.035	0.829	0.032
1.5	0.983	0.978	0.934	0.483
2.0	0.957	0.070	0.953	0.700
2.5	0.906	0.255	0.935	0.499
3.0	0.946	0.617	0.941	0.563
3.5	0.878	0.123	0.938	0.531
4.0	0.988	0.994	0.822	0.026
4.5	0.863	0.082	0.875	0.115
5.0	0.851	0.059	0.893	0.185
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.944	0.598	0.902	0.231
1.5	0.961	0.793	0.981	0.970
2.0	0.945	0.609	0.967	0.861
2.5	0.936	0.513	0.952	0.688
3.0	0.961	0.797	0.937	0.521
3.5	0.966	0.848	0.038	0.526
4.0	0.970	0.891	0.885	0.150
4.5	0.961	0.802	0.980	0.964
5.0	0.924	0.393	0.913	0.305

Quadro A57-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – pH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	13.7	0.000	47.6	0.000
1.5	22.2	0.000	28.2	0.000
2.0	24.8	0.000	47.7	0.000
2.5	22.3	0.000	69.4	0.000
3.0	17.2	0.000	15.0	0.000
3.5	7.6	0.000	5.2	0.000
4.0	-3.2	0.010	0	0.002
4.5	-5.7	0.000	-25.3	0.000
5.0	-4.3	0.002	-14.6	0.000
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	55	0.001	55	0.001
1.5	73.6	0.000	47.3	0.000
2.0	29.4	0.000	40.3	0.000
2.5	47.2	0.000	47.7	0.000
3.0	89.1	0.000	16.4	0.000
3.5	5.7	0.000	11.1	0.000
4.0	9.2	0.000	55	0.001
4.5	-13.0	0.000	-0.37	0.726
5.0	-7.7	0.000	-1.3	0.239
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	5.1	0.000	7.3	0.000
1.5	11.1	0.000	9.9	0.000
2.0	11.6	0.000	12.0	0.000
2.5	10.7	0.000	17.1	0.000
3.0	11.1	0.000	16.7	0.000
3.5	6.5	0.000	11.8	0.000
4.0	-4.4	0.002	-1.8	0.105
4.5	-3.4	0.008	-7.0	0.000
5.0	-0.80	0.445	-3.8	0.004

Quadro A58-anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	6.1	7.9	10.1	8.9	7.4	3.6	-1.1	-1.9	-1.1
Desv. pad.	1.4	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5	1.1	1.0	0.82
	22600 ppm								
Média	5.4	6.5	8.3	6.8	4.8	1.0	-3.5	-3.4	-2.7
Desv. pad.	0.36	0.72	0.55	0.31	1.0	0.60	0.98	0.43	0.58
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	8.2	10.0	11.1	10.6	6.8	1.1	1.1	-4.04	-2.5
Desv. pad.	1.2	0.43	1.2	0.71	0.24	0.59	0.38	0.98	1.0
	22600 ppm								
Média	7.4	10.2	11.8	12.3	9.9	4.4	2.2	-0.16	-0.34
Desv. pad.	1.8	0.69	0.92	0.82	1.9	1.3	1.3	1.4	0.84
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	3.3	5.1	6.8	6.8	6.9	3.9	-2.3	-1.8	-0.50
Desv. pad.	2.1	1.5	1.8	2.0	2.0	1.9	1.6	1.6	2.0
	22600 ppm								
Média	2.9	4.1	5.3	5.4	5.1	4.2	-1.2	-2.7	-1.4
Desv. pad.	1.3	1.3	1.4	1.0	0.97	1.1	2.2	1.2	1.1

Quadro A59-anexo 3- Medidas Descritivas das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.963	0.822	0.910	0.283
1.5	0.955	0.731	0.989	0.995
2.0	0.980	0.965	0.852	0.062
2.5	0.920	0.359	0.978	0.956
3.0	0.931	0.460	0.932	0.470
3.5	0.980	0.963	0.942	0.570
4.0	0.965	0.839	0.840	0.044
4.5	0.963	0.816	0.936	0.504
5.0	0.699	0.001	0.949	0.658
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.850	0.058	0.961	0.800
1.5	0.793	0.012	0.926	0.407
2.0	0.657	0.000	0.964	0.833
2.5	0.854	0.064	0.976	0.939
3.0	0.909	0.277	0.910	0.282
3.5	0.945	0.611	0.938	0.531
4.0	0.895	0.195	0.926	0.408
4.5	0.869	0.096	0.954	0.711
5.0	0.941	0.564	0.874	0.111
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.858	0.072	0.965	0.838
1.5	0.938	0.533	0.856	0.068
2.0	0.892	0.177	0.879	0.127
2.5	0.956	0.735	0.963	0.818
3.0	0.977	0.946	0.972	0.911
3.5	0.928	0.433	0.966	0.854
4.0	0.865	0.088	0.900	0.218
4.5	0.876	0.117	0.970	0.895
5.0	0.931	0.459	0.939	0.540

Quadro A60-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	6.8	0.000	5.6	0.000
1.5	15.8	0.000	12.2	0.000
2.0	14.5	0.000	15.5	0.000
2.5	16.4	0.000	17.1	0.000
3.0	15.0	0.000	7.4	0.000
3.5	9.7	0.000	0.32	0.378
4.0	-2.3	0.049	0	0.002
4.5	-8.6	0.000	-14.9	0.000
5.0	47	0.049	-11.6	0.000
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	9.9	0.000	8.7	0.000
1.5	13.8	0.000	16.1	0.000
2.0	18.8	0.000	23.6	0.000
2.5	26.8	0.000	31.2	0.000
3.0	22.2	0.000	12.4	0.000
3.5	14.5	0.000	7.1	0.000
4.0	15.9	0.000	2.5	0.018
4.5	3.3	0.005	-2.1	0.067
5.0	10.3	0.000	-0.07	0.949
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	3.4	0.004	3.0	0.008
1.5	7.9	0.000	5.2	0.000
2.0	7.7	0.000	10.1	0.000
2.5	7.8	0.000	6.8	0.000
3.0	7.9	0.000	6.9	0.000
3.5	5.6	0.000	4.6	0.001
4.0	-4.2	0.002	-3.9	0.004
4.5	-2.5	0.032	-4.7	0.001
5.0	-1.6	0.147	-2.1	0.067

Quadro A61-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	26.1	38.7	47.8	46.2	36.4	18.0	-6.4	-18.9	33.6
Desv. pad.	12.1	7.7	10.4	8.9	7.7	5.9	8.9	6.9	67.1
	22600 ppm								
Média	10.9	29.6	38.1	36.0	22.1	0.79	-33.3	-37.3	-30.6
Desv. pad.	6.1	7.7	7.8	6.7	9.5	7.7	9.5	7.9	8.4
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	63.5	69.2	89.2	76.8	62.3	45.4	31.4	7.2	18.7
Desv. pad.	20.2	15.8	15.0	9.1	8.9	9.9	6.2	7.0	5.7
	22600 ppm								
Média	35.2	52.5	65.9	67.1	56.7	24.7	9.7	-8.3	-0.35
Desv. pad.	12.9	10.3	8.8	6.8	14.4	11.1	12.5	12.6	16.8
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	13.7	26.8	33.0	32.2	36.3	21.3	-21.4	-11.4	-5.9
Desv. pad.	12.8	10.7	13.6	13.1	14.5	12.0	16.0	14.2	11.7
	22600 ppm								
Média	14.7	17.9	27.4	22.0	20.4	14.5	-22.5	-27.2	-13.8
Desv. pad.	15.6	10.9	8.6	10.2	9.3	9.9	18.3	18.2	20.9

Quadro A62-anexo 3 - Medidas Descritivas das Diferenças do Momento Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.957	0.748	0.938	0.531
1.5	0.920	0.355	0.845	0.051
2.0	0.915	0.319	0.971	0.900
2.5	0.917	0.331	0.920	0.354
3.0	0.912	0.293	0.968	0.871
3.5	0.964	0.827	0.965	0.840
4.0	0.917	0.330	0.973	0.920
4.5	0.970	0.888	0.989	0.996
5.0	0.713	0.001	0.985	0.988
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.902	0.231	0.925	0.400
1.5	0.872	0.105	0.842	0.046
2.0	0.855	0.067	0.876	0.118
2.5	0.913	0.302	0.972	0.907
3.0	0.923	0.380	0.934	0.491
3.5	0.906	0.255	0.960	0.787
4.0	0.917	0.337	0.955	0.723
4.5	0.865	0.087	0.925	0.398
5.0	0.896	0.195	0.946	0.624
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.932	0.472	0.947	0.637
1.5	0.942	0.580	0.929	0.437
2.0	0.920	0.356	0.873	0.110
2.5	0.955	0.731	0.954	0.711
3.0	0.907	0.263	0.942	0.573
3.5	0.884	0.144	0.944	0.599
4.0	0.882	0.139	0.899	0.211
4.5	0.946	0.618	0.932	0.469
5.0	0.956	0.744	0.952	0.687

Quadro A63-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-2.0	0.079	-9.7	0.000
1.5	-1.9	0.093	-2.5	0.034
2.0	-2.4	0.038	-4.1	0.003
2.5	-1.3	0.212	-0.94	0.371
3.0	-2.2	0.060	-2.1	0.071
3.5	-1.1	0.307	-1.9	0.093
4.0	-0.12	0.907	-5.6	0.000
4.5	-3.4	0.008	-7.9	0.000
5.0	48	0.037	-6.6	0.000
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.1	0.002	-1.5	0.158
1.5	2.8	0.019	8	0.049
2.0	5.4	0.000	-1.7	0.118
2.5	5.3	0.001	-2.3	0.046
3.0	8.3	0.000	-0.49	0.637
3.5	10.3	0.000	-0.47	0.647
4.0	11.4	0.000	-1.1	0.296
4.5	9.6	0.000	-2.1	0.062
5.0	11.6	0.000	0.38	0.711
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-2.2	0.053	-0.59	0.567
1.5	-1.1	0.299	-1.6	0.137
2.0	-2.0	0.079	-1.1	0.297
2.5	-1.8	0.098	-2.5	0.037
3.0	-0.77	0.466	-2.5	0.033
3.5	-0.28	0.789	-2.7	0.023
4.0	-1.5	0.179	-3.3	0.010
4.5	-0.12	0.904	-1.6	0.138
5.0	-0.58	0.574	-0.84	0.423

Quadro A64-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	-0.12	-0.06	-0.08	-0.03	-0.03	-0.01	0.00	-0.04	0.15
Desv. pad.	0.19	0.09	0.10	0.07	0.05	0.03	0.05	0.03	0.25
22600 ppm									
Média	-0.43	-0.10	-0.09	-0.02	-0.03	-0.03	-0.06	-0.08	-0.06
Desv. pad.	0.14	0.12	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	0.56	0.21	0.26	0.12	0.16	0.22	0.13	0.14	0.13
Desv. pad.	0.43	0.23	0.15	0.07	0.06	0.07	0.03	0.04	0.04
22600 ppm									
Média	-0.14	-0.11	-0.04	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	0.01
Desv. pad.	0.30	0.15	0.07	0.06	0.08	0.06	0.05	0.05	0.06
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	-0.14	-0.05	-0.08	-0.06	-0.03	-0.01	-0.04	0.00	-0.01
Desv. pad.	0.20	0.16	0.12	0.11	0.11	0.09	0.08	0.09	0.06
22600 ppm									
Média	-0.07	-0.11	-0.05	-0.09	-0.07	-0.06	-0.08	-0.05	-0.02
Desv. pad.	0.37	0.21	0.14	0.11	0.09	0.07	0.07	0.10	0.09

Quadro A65-anexo 3 - Medidas Descritivas das Diferenças do Momento/força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH4

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.952	0.693	0.952	0.691
1.5	0.948	0.641	0.889	0.164
2.0	0.960	0.786	0.950	0.665
2.5	0.960	0.785	0.937	0.522
3.0	0.839	0.043	0.970	0.890
3.5	0.905	0.246	0.920	0.359
4.0	0.978	0.953	0.771	0.006
4.5	0.941	0.566	0.944	0.603
5.0	0.912	0.292	0.979	0.959
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.832	0.036	0.944	0.602
1.5	0.942	0.574	0.981	0.969
2.0	0.947	0.634	0.939	0.543
2.5	0.926	0.409	0.898	0.209
3.0	0.980	0.965	0.914	0.312
3.5	0.901	0.223	0.847	0.053
4.0	0.896	0.198	0.937	0.518
4.5	0.948	0.651	0.888	0.159
5.0	0.947	0.636	0.936	0.510
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.875	0.115	0.952	0.691
1.5	0.891	0.174	0.954	0.711
2.0	0.921	0.362	0.927	0.420
2.5	0.840	0.044	0.979	0.961
3.0	0.871	0.103	0.984	0.983
3.5	0.897	0.202	0.965	0.843
4.0	0.980	0.966	0.937	0.516
4.5	0.903	0.238	0.920	0.358
5.0	0.964	0.827	0.927	0.416

Quadro A66-anexo 3 - Teste de Normalidade das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	7.7	0.000	11.2	0.000
1.5	11.8	0.000	9.8	0.000
2.0	11.5	0.000	15.4	0.000
2.5	13.8	0.000	18.4	0.000
3.0	55	0.003	17.6	0.000
3.5	1.7	0.062	5.7	0.000
4.0	-6.2	0.000	0	0.006
4.5	-5.2	0.001	-4.0	0.003
5.0	-5.3	0.001	-1.4	0.201
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	55	0.001	28.2	0.000
1.5	38.4	0.000	17.5	0.000
2.0	46.3	0.000	33.2	0.000
2.5	26.5	0.000	24.0	0.000
3.0	16.8	0.000	21.7	0.000
3.5	9.2	0.000	7.9	0.000
4.0	2.9	0.009	0.39	0.352
4.5	0.70	0.251	-6.2	0.000
5.0	0.49	0.319	-2.6	0.029
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.3	0.001	10.4	0.000
1.5	5.1	0.000	5.0	0.000
2.0	6.8	0.000	9.2	0.000
2.5	55	0.001	6.5	0.000
3.0	8.1	0.000	6.0	0.000
3.5	9.9	0.000	6.1	0.000
4.0	5.7	0.000	5.4	0.000
4.5	5.2	0.000	4.5	0.001
5.0	4.0	0.002	3.8	0.002

Quadro A67-anexo 3 - Teste da Significância das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH6.75

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	4.2	6.6	6.8	6.8	4.8	0.76	-1.9	-2.0	-1.8
Desv. pad.	1.7	1.8	1.9	1.5	0.59	1.4	0.95	1.2	1.1
22600 ppm									
Média	6.0	6.4	7.8	8.3	7.3	3.5	-1.8	-1.7	-0.51
Desv. pad.	1.7	2.1	1.6	1.4	1.3	1.9	1.3	1.4	1.2
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	6.8	9.5	10.3	9.8	5.7	2.7	1.1	0.26	0.21
Desv. pad.	1.3	0.78	0.70	1.2	1.1	0.93	1.3	1.2	1.4
22600 ppm									
Média	7.7	8.4	10.5	10.1	7.1	3.1	0.15	-1.7	-0.80
Desv. pad.	0.86	1.5	1.0	1.3	1.0	1.2	1.2	0.89	0.97
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	2.2	2.2	2.8	2.7	2.8	2.8	2.2	2.4	2.0
Desv. pad.	1.6	1.4	1.3	1.3	1.1	0.90	1.2	1.4	1.6
22600 ppm									
Média	4.4	2.5	2.0	2.1	2.0	1.8	1.7	1.2	1.1
Desv. pad.	1.3	1.6	0.69	1.0	1.1	0.93	0.99	0.86	0.93

Quadro A68-anexo 3 - Medidas Descritivas das Diferenças da Força Após Imersão em Flúor (TMA) – PH6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.907	0.258	0.991	0.998
1.5	0.953	0.702	0.904	0.244
2.0	0.939	0.542	0.946	0.617
2.5	0.949	0.660	0.926	0.413
3.0	0.877	0.121	0.941	0.566
3.5	0.941	0.562	0.951	0.675
4.0	0.983	0.981	0.934	0.486
4.5	0.890	0.169	0.911	0.290
5.0	0.502	0.000	0.927	0.419
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.941	0.565	0.946	0.622
1.5	0.938	0.526	0.930	0.446
2.0	0.918	0.345	0.920	0.360
2.5	0.708	0.001	0.702	0.001
3.0	0.979	0.957	0.932	0.463
3.5	0.965	0.841	0.932	0.470
4.0	0.880	0.132	0.961	0.798
4.5	0.856	0.069	0.950	0.666
5.0	0.883	0.141	0.975	0.933
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.932	0.472	0.949	0.654
1.5	0.931	0.461	0.904	0.240
2.0	0.782	0.009	0.836	0.039
2.5	0.920	0.359	0.978	0.954
3.0	0.836	0.039	0.831	0.034
3.5	0.769	0.006	0.839	0.043
4.0	0.961	0.792	0.954	0.711
4.5	0.890	0.169	0.885	0.147
5.0	0.895	0.192	0.972	0.904

Quadro A69-anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	2.9	0.009	5.3	0.000
1.5	5.4	0.000	5.7	0.000
2.0	6.7	0.000	7.6	0.000
2.5	6.7	0.000	9.4	0.000
3.0	6.5	0.000	9.0	0.000
3.5	1.6	0.073	1.9	0.045
4.0	-1.2	0.257	-5.0	0.001
4.5	-1.1	0.288	-4.9	0.001
5.0	22	0.625	-2.8	0.020
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	7.6	0.000	8.4	0.000
1.5	11.5	0.000	14.3	0.000
2.0	18.7	0.000	26.2	0.000
2.5	48	0.019	54	0.002
3.0	11.7	0.000	21.3	0.000
3.5	5.6	0.000	9.6	0.000
4.0	2.6	0.014	1.7	0.065
4.5	1.9	0.043	2.3	0.024
5.0	2.1	0.030	1.9	0.046
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	4.8	0.000	8.3	0.000
1.5	3.4	0.004	4.9	0.000
2.0	50	0.010	54	0.002
2.5	3.4	0.004	3.1	0.006
3.0	46	0.032	49	0.019
3.5	43	0.065	51	0.009
4.0	3.4	0.004	1.7	0.060
4.5	4.9	0.000	1.3	0.112
5.0	4.1	0.001	2.1	0.033

Quadro A70 -anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento após Imersão em Flúor (TMA) – PH6.75

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	21.3	33.8	36.7	38.5	32.0	10.6	-6.6	-5.5	-39.2
Desv. pad.	23.1	19.7	17.3	18.1	15.7	21.1	17.3	15.4	124.4
	22600 ppm								
Média	29.8	29.2	35.2	36.2	30.5	10.3	-24.5	-25.9	-14.2
Desv. pad.	17.7	16.1	14.6	12.1	10.7	17.1	15.5	16.6	15.8
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	26.8	44.7	52.4	39.1	35.8	20.9	10.2	10.1	7.2
Desv. pad.	11.2	12.3	8.9	35.9	9.6	11.8	12.3	16.5	10.6
	22600 ppm								
Média	48.4	54.8	64.5	47.1	53.1	26.2	6.7	5.3	11.3
Desv. pad.	18.1	12.1	7.8	32.6	7.9	8.6	12.8	7.4	18.9
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1500 ppm								
Média	17.5	15.7	13.2	15.1	13.0	11.0	17.6	20.2	16.5
Desv. pad.	11.5	14.6	11.3	14.1	20.3	21.2	16.2	13.1	12.8
	22600 ppm								
Média	48.4	28.7	28.6	15.5	10.5	10.8	7.9	6.1	9.2
Desv. pad.	18.5	18.7	30.1	15.8	13.5	12.6	14.6	14.9	13.9

Quadro A71 -anexo 3- Medidas Descritivas das Diferenças do Momento após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.932	0.472	0.910	0.280
1.5	0.942	0.580	0.943	0.591
2.0	0.920	0.356	0.908	0.264
2.5	0.955	0.731	0.878	0.123
3.0	0.907	0.263	0.931	0.457
3.5	0.884	0.144	0.974	0.927
4.0	0.882	0.139	0.906	0.254
4.5	0.946	0.618	0.918	0.337
5.0	0.956	0.744	0.959	0.779
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.923	0.381	0.899	0.213
1.5	0.933	0.479	0.948	0.644
2.0	0.969	0.878	0.920	0.358
2.5	0.736	0.002	0.661	0.000
3.0	0.966	0.847	0.963	0.822
3.5	0.941	0.567	0.960	0.782
4.0	0.972	0.906	0.976	0.943
4.5	0.947	0.636	0.906	0.254
5.0	0.963	0.817	0.915	0.315
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	0.888	0.161	0.957	0.753
1.5	0.929	0.439	0.957	0.752
2.0	0.968	0.868	0.800	0.015
2.5	0.968	0.868	0.899	0.215
3.0	0.900	0.219	0.958	0.768
3.5	0.883	0.141	0.924	0.388
4.0	0.922	0.373	0.945	0.605
4.5	0.891	0.173	0.948	0.648
5.0	0.742	0.003	0.929	0.440

Quadro A72 -anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças do Momento/Força após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

1 mês				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-2.2	0.053	-0.69	0.510
1.5	-1.1	0.299	-1.8	0.102
2.0	-2.0	0.079	-3.0	0.014
2.5	-1.9	0.098	-3.1	0.012
3.0	-0.76	0.466	-3.3	0.009
3.5	-0.28	0.789	-2.6	0.029
4.0	-1.5	0.179	-2.9	0.017
4.5	-0.12	0.904	-3.1	0.013
5.0	-0.58	0.574	-2.3	0.047
3 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	-3.7	0.005	0.95	0.366
1.5	-4.1	0.003	0.82	0.436
2.0	-5.5	0.000	0.06	0.951
2.5	7	0.037	9	0.064
3.0	0.17	0.868	6.3	0.000
3.5	1.1	0.296	3.5	0.006
4.0	1.1	0.317	2.1	0.062
4.5	2.0	0.079	5.7	0.000
5.0	1.9	0.089	2.7	0.027
5 meses				
Ativação inicial	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
1.0	1.3	0.232	4.4	0.002
1.5	0.29	0.777	3.1	0.012
2.0	-1.3	0.232	46	0.064
2.5	-0.53	0.606	0.64	0.540
3.0	-0.82	0.433	-0.41	0.690
3.5	-1.0	0.338	-0.03	0.978
4.0	0.51	0.620	-0.50	0.629
4.5	0.83	0.425	-0.33	0.747
5.0	22	0.625	0.47	0.652

Quadro A73 -anexo 3- Teste da Significância das Diferenças do Momento/Força após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

1 mês									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	-0.14	-0.05	-0.08	-0.06	-0.03	-0.01	-0.04	0.00	-0.01
Desv. pad.	0.20	0.16	0.12	0.11	0.11	0.09	0.08	0.09	0.06
22600 ppm									
Média	-0.06	-0.09	-0.09	-0.08	-0.07	-0.05	-0.07	-0.07	-0.04
Desv. pad.	0.27	0.16	0.09	0.09	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06
3 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	-0.32	-0.2	-0.11	-0.17	0.00	0.02	0.02	0.04	0.02
Desv. pad.	0.27	0.16	0.06	0.28	0.07	0.07	0.05	0.06	0.04
22600 ppm									
Média	0.10	0.05	0.00	-0.13	0.06	0.04	0.03	0.07	0.07
Desv. pad.	0.32	0.20	0.08	0.26	0.03	0.04	0.04	0.04	0.08
5 meses									
	Ativação inicial								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1500 ppm									
Média	0.08	0.02	-0.05	-0.02	-0.03	-0.04	0.02	0.02	0.01
Desv. pad.	0.21	0.18	0.12	0.11	0.13	0.12	0.1	0.08	0.07
22600 ppm									
Média	0.60	0.21	0.18	0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.01
Desv. pad.	0.43	0.21	0.33	0.11	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06

Quadro A74 -anexo 3- Medidas Descritivas das Diferenças do Momento/Força após Imersão em Flúor (TMA) – pH6.75

PH4			
	1 mês	3 meses	5 meses
Valor inicial			
Média	0.029	0.021	0.040
Desv. pad.	0.010	0.004	0.046
Valor final			
Média	0.021	0.021	0.021
Desv. pad.	0.005	0.004	0.003
Diferença			
Média	0.008	0.000	0.019
Desv. pad.	0.011	0.004	0.046
PH6.75			
Valor inicial			
Média	0.024	0.037	0.042
Desv. pad.	0.006	0.011	0.041
Valor final			
Média	0.020	0.017	0.020
Desv. pad.	0.000	0.005	0.004
Diferença			
Média	0.004	0.020	0.022
Desv. pad.	0.006	0.011	0.042

Quadro B1 -anexo 3- Medidas Descritivas da Rugosidade (Aço)

pH4			
	1 mês	3 meses	5 meses
Valor inicial			
Média	0.148	0.127	0.142
Desv. pad.	0.029	0.033	0.031
Valor final			
Média	0.095	0.097	0.103
Desv. pad.	0.014	0.016	0.016
Diferença			
Média	0.053	0.030	0.039
Desv. pad.	0.024	0.041	0.036
pH6.75			
Valor inicial			
Média	0.134	0.133	0.160
Desv. pad.	0.025	0.036	0.070
Valor final			
Média	0.201	0.134	0.097
Desv. pad.	0.095	0.035	0.012
Diferença			
Média	-0.067	0.035	0.063
Desv. pad.	0.086	0.047	0.074

Quadro B2 -anexo 3- Medidas Descritivas da Rugosidade (TMA)

1 mês				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.890	0.067		
pH6.75	0.794	0.003		
3 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.725	0.001	0.852	0.018
pH6.75	0.497	0.000	0.891	0.206
5 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.413	0.000	0.960	0.746
pH6.75	0.788	0.007	0.899	0.152

Quadro B3 -anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças da Rugosidade Após Imersão em Flúor (Aço)

1 mês				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	-6.6	0.000		
pH6.75	0	0.004		
3 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0	0.018	0	0.001
pH6.75	0	0.010	-5.0	0.001
5 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0	0.173	-10.1	0.000
pH6.75	1	0.010	-5.3	0.000

Quadro B4 -anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Rugosidade Após Imersão em Flúor (Aço)

pH4						
	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
Valor inicial						
Média	0.021		0.021	0.021	0.020	0.020
Desv. Pad.	0.005		0.003	0.005	0.000	0.000
Valor final						
Média	0.119		0.095	0.107	0.021	0.188
Desv. pad.	0.056		0.079	0.047	0.004	0.060
Diferença						
Média	-0.098		-0.074	-0.086	-0.001	-0.168
Desv. pad.	0.058		0.078	0.045	0.004	0.060
pH6.75						
	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
Valor inicial						
Média	0.020		0.015	0.019	0.020	0.020
Desv. Pad.	0.000		0.005	0.003	0.004	0.004
Valor final						
Média	0.082		0.036	0.114	0.058	0.098
Desv. pad.	0.072		0.043	0.057	0.041	0.052
Diferença						
Média	-0.062		-0.021	-0.096	-0.038	-0.078
Desv. pad.	0.072		0.045	0.057	0.041	0.050

Quadro B5 -anexo 3- Medidas Descritivas da Rugosidade Após Imersão em Flúor (Aço)

1 mês				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.849	0.035		
pH6.75	0.958	0.751		
3 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.886	0.180	0.902	0.087
pH6.75	0.935	0.440	0.783	0.013
5 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.956	0.759	0.873	0.070
pH6.75	0.675	0.000	0.929	0.334

Quadro B6 -anexo 3- Teste de Normalidade das Diferenças da Rugosidade Após Imersão em Flúor (TMA)

1 mês				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	4	0.050		
pH6.75	-2.0	0.036		
3 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	3.1	0.015	-11.2	0.000
pH6.75	0.71	0.754	5	0.075
5 meses				
pH	1500 ppm		22600 ppm	
	Estatística teste	Valor-p	Estatística teste	Valor-p
pH4	0.00	0.500	-4.5	0.000
pH6.75	18.5	0.193	-11.5	0.000

Quadro B7 -anexo 3- Teste da Significância das Diferenças da Rugosidade Após Imersão em Flúor (TMA)

pH 4						
	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
Valor inicial						
Média	0.095		0.107	0.088	0.104	0.103
Desv. Pad.	0.014		0.010	0.014	0.021	0.012
Valor final						
Média	0.105		0.091	0.265	0.104	0.135
Desv. pad.	0.018		0.011	0.066	0.024	0.025
Diferença						
Média	-0.010		0.016	-0.177	0.000	-0.032
Desv. pad.	0.019		0.016	0.063	0.042	0.024
pH 6.75						
	1 mês		3 meses		5 meses	
	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm	1500 ppm	22600 ppm
Valor inicial						
Média	0.201		0.143	0.123	0.098	0.088
Desv. Pad.	0.095		0.033	0.036	0.013	0.015
Valor final						
Média	0.264		0.137	0.214	0.145	0.315
Desv. pad.	0.163		0.036	0.107	0.101	0.068
Diferença						
Média	-0.063		0.006	-0.091	-0.047	-0.226
Desv. pad.	0.110		0.028	0.140	0.108	0.071

Quadro B8 -anexo 3- Medidas Descritivas da Rugosidade Após Imersão em Flúor (TMA)

Ormco Metal Products Composition											
Product	Alloy	UNS No.	Compositional Elements	% Maximum units unless otherwise shown							Density
				C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Balance	
BANDS	305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0/19.0	10.5/13.0			Fe	.260
BRACKETS	303SE	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0/19.0	8.0/10.0			Fe	.290
	17-4 PH	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5/17.5	3.0/5.0			Fe 3.0/5.0 Cu	.280
CAST BRKT	316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0		Fe	.290
MESH	316L	S31603	0.30	2.00	1.00	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0		Fe	.290
WIRE	302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0/19.0	8.0/10.0			Fe	.290
	304	S30400	0.08	2.00	1.00	10.8/20.0	8.0/10.5			Fe	.290
	Cu/Ni/Ti	N/A	0.06			0.20	48.10			Ti 5.0 Cu	.203
	Ni/Ti	N/A	0.06			0.20	54.90			Ti	.203
	TMA	N/A	0.10					10.0/13.0		Ti 4.5/7.5 Zr, 3.75/5.25 Sn	.181
CAS Number			7440-44-0	7439-96-5	7740-21-3	7740-47-3	7740-02-0	7439-98-7	7439-89-5		